ISSN 0037-8437

ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

AÑO 2017 - VOLUMEN 259 - Nº 3

SUMARIO

Pág.

Alicia B. Pomilio, Arturo A. Vitale y Jorge O. Ciprian-Ollivier - ESTUDIOS CLÍNICOS Y DE RADIOMARCACIÓN DE BIOMARCADORES DE LA HIPERMETILACIÓN INDÓLICA EN ALTERACIONES DE LA PERCEPCIÓN HUMANA 5

Antonio Las Heras - LA VIDA DESPUES DE LA MUERTE EN LOS PUEBLOS ANDINOS DEL NOROESTE ARGENTINO 21

José María Lentino - EL LABERINTO CUÁNTICO 29

Juan Carlos Muñoz - "EL PENSAMIENTO BIOMECÁNICO DE MORIZ BENEDIKT: APORTES AL DESARROLLO DE LA BIOMECÁNICA"
"THE BIOMECHANICAL THOUGHT OF MORIZ BENEDIKT: CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF BIOMECHANICS" 57

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

JUNTA DIRECTIVA 2017

Presidente	*Dr. Angel Alonso*
Vicepresidente 1º	*Dr. Jorge Reinaldo Vanossi*
Vicepresidente 2º	*Dr. Norberto Sarubinsky Grafin*
Secretario	*Lic. Ernesto Celman*
Tesorero	*Dr. Nestor Figarola*
Prosecretario	*Dra. Georgina Rodríguez de Lopez Arnaiz*
Bibliotecario	*Dr. José Luis Speroni*
Miembros Titulares	*Dr. Raúl Vaccaro* *Dr. Carlos Azize* *Ing. Juan María Cardoni* *Lic. Eduardo Laplagne* *Ing. Enrique Draier* *Dr. Eduardo A. Castro* *Dr. José Selles Martinez* *Lic. Norma I. Sanchez* *Dr. Horacio Bosch*
Miembros Suplentes	*Dr. Rodolfo Pedro Rothlin* *Dr. Carlos de Jorge* *Dr. Adrian Werthein* *Ing. Santiago Rodriguez* *Dr. Luis A. Gold* *Dr. Alfredo Buzzi*
Revisores de Cuentas	*Ing. Juan José Sallaber* *Dr. Ricardo Levin Rabey*

CONSEJO DE HONOR

Dr. Augusto C. Belluscio
Dr. Carlos Pedro Blaquier
Dr. Alberto Boveris
Dr. Nicolás Breglia
Dr. Alberto Dalla Via
Dr. Alejandro De Nicola
Dr. Arturo Otaño Sahores
Dr. Eduardo A. Pigretti
Dr. Horacio Sanguinetti

ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA
ARGENTINA

AÑO 2017 - VOLUMEN 259 - Nº 3

Indizada en Biodiversity Heritage Library, Smithsonian Institute (USA),
en el Natural History Museum Library (UK) y en la
Ernst Mayr Library de Harvard University (USA).

Avda. SANTA FE 1145
C1059ABF BUENOS AIRES - ARGENTINA
Correo Electrónico: sociedad@cientifica.org.ar
www.cientifica.org.ar

EX PRESIDENTES DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

1872-1874 Ing. Luis A. Huergo
1874-1875 Dr. Juan J. J. Kyle
1875-1877 Ing. Pedro Pico
1877-1878 Ing. Guillermo White
1878-1879 Ing. Luis A. Huergo
1879-1880 Dr. Valentín Balbín
1880-1881 Dr. Carlos Berg
1881-1882 Ing. Luis A. Huergo
1882-1883 Dr. Carlos Berg
1883-1885 Ing. Guillermo White
1885-1886 Ing. Luis A. Viglione
1886-1887 Dr. Estanislao S. Zeballos
1887-1889 Dr. Valentín Balbín
1889-1891 Dr. Carlos Maria Morales
1891-1892 Ing. Eduardo Aguirre
1892-1893 Dr. Juan J. J. Kyle
1893-1894 Ing. Carlos Bunge
1894-1895 Ing. Miguel Iturbe
1895-1896 Dr. Carlos Maria Morales
1896-1897 Dr. Angel Gallardo
1897-1898 Ing. Domingo Nocetti
1898-1900 Ing. Dr. Marcial R. Candiotti
1900-1901 Dr. Manuel B. Bahía
1901-1902 Dr. Carlos Maria Morales
1902-1903 Ing. Carlos Echagüe
1903-1904 Ing. Emilio Palacio
1904-1906 Dr. Carlos Maria Morales
1906-1908 Ing. Gral. Arturo M. Lugones
1908-1909 Ing. Otto Krause
1909-1910 Ing. Vicente Castro
1910-1911 Dr. Francisco P. Moreno
1911-1912 Ing. Vicente Castro
1912-1913 Gral. Dr. Agustín Alvarez
1913-1914 Ing. Santiago E. Barabino
1914-1915 Dr. Francisco P. Lavalle
1915-1917 Ing. Nicolás Besio Moreno
1917-1919 Dr. Carlos Maria Morales
1919-1923 Ing. Santiago E. Barabino
1923-1927 Ing. Eduardo Huergo
1927-1929 Ing. Nicolás Besio Moreno
1929-1933 Dr. Nicolás Lozano
1933-1937 Ing. Nicolás Besio Moreno
1937-1943 Ing. Jorge W. Dobranich
1943-1946 Dr. Gonzalo Bosch
1946-1949 Ing. José M. Páez
1949-1951 Ing. Dr. Eduardo María Huergo
1951-1956 Dr. Abel Sánchez Díaz
1956-1959 Dr. Eduardo Braun Menéndez
1959-1962 Ing. Pedro Longhini
1962-1964 Dr. Pablo Negroni
1964-1970 Ing. José S. Gandolfo
1970-1976 C. de Nav. Emilio L. Díaz
1976-1988 Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
1988-1989 Ing. Augusto L. Bacqué
1989-1992 Ing. Lucio R. Ballester
1993-1999 Dr. Arturo Otaño Sahores
1999-2001 Dr. Andrés O. M. Stoppani
2001-2005 Dr. Alfredo Kohn Loncarica
2005-2009 Dr. Jorge R. A. Vanossi
2009-2013 Dr. Angel Alonso
2013-2017 Dr. Eduardo A. Castro

ESTUDIOS CLÍNICOS Y DE RADIOMARCACIÓN DE BIOMARCADORES DE LA HIPERMETILACIÓN INDÓLICA EN ALTERACIONES DE LA PERCEPCIÓN HUMANA

Alicia B. Pomilio*, Arturo A. Vitale y Jorge O. Ciprian-Ollivier

Área de Hematología, Departamento de Bioquímica Clínica, Hospital de Clínicas "José de San Martín", Universidad de Buenos Aires, Av. Córdoba 2351, C1120AAF Buenos Aires, Argentina. abpomilio@sinectis.com.ar; pomilio@ffyb.uba.ar; aavitale@sinectis.com.ar; avitale@ffyb.uba.ar.

RESUMEN

Este grupo de investigación ha realizado estudios sobre psicosis, en particular esquizofrenia, con el objeto de ahondar en los procesos de alteración de la realidad y tipos de dispercepciones, vinculándolos con cambios de determinadas vías metabólicas. La idea es obtener biomarcadores de la enfermedad mental para un diagnóstico preciso y precoz, dado que la sintomatología se presenta en la pubertad, pero lamentablemente el diagnóstico es tardío, cuando se realiza. Además, es también el objetivo presentar dianas posibles de valor en el diseño de nuevos fármacos. En el presente trabajo se intenta resumir investigaciones realizadas durante unos 28 años de trabajo que han dado lugar a la recepción del Premio de la Sociedad Científica Argentina 2016.

Palabras clave: psicosis; esquizofrenia; estudios clínicos; radiomarcación; biomarcadores.

Clinical and radiolabelling studies of biomarkers of indole hypermethylation in alterations of human perception

ABSTRACT

This research group has carried out studies on psychosis, in particular schizophrenia, in order to delve into the processes of reality alteration, and types of disperceptions, associating them with changes of some metabolic pathways. The idea is to obtain biomarkers of mental illness for an accurate and early diagnosis, since the symptomatology occurs at puberty, but unfortunately the diagnosis is late, when it is performed. In addition, it is also the goal to present possible targets of value in the design of new drugs. In the present paper we try to summarize research carried out for nearly 28 years, which have led to the reception of the Award of the Argentine Scientific Society 2016.

Key words: psychosis; schizophrenia; clinical studies; radiolabelling; biomarkers.

INTRODUCCIÓN

Este estudio sobre la fisiopatología de la esquizofrenia requirió en una primera etapa analizar la presencia de diferentes fenotipos, su caracterización y la investigación de altera-ciones neurometabólicas características, con el enfoque en las indoletilaminas, algunas de ellas conocidas desde hace años por su capacidad neurodisléptica, alucinogénica y enteógena.

Los estudios tangenciales que realizáramos con *Ayahuasca*, brebaje utilizado en rituales chamanísticos y ritualísticos en la Cuenca del Amazonas, de potente actividad alucinogénica y disperceptiva, así como la identificación de su principio activo, *N,N*-dimetiltriptamina (DMT) (presente en *Psichotria viridis*) protegida del ataque de las enzimas monoamino-oxidasas (MAOs) por inhibidores naturales como las harminas (que se encuentran en la liana *Banisteriopsis caapi*) (1-5), reforzaron, a través de una situación exógenamente inducida, lo que podría ser la clave de un fenómeno endógeno espontáneo de origen genético. Esta hiperactividad metilante se observa en un alto porcentaje de pacientes con esquizofrenia que representan un fenotipo con hipoactividad de la enzima MAO-B. Hemos verificado esta hipótesis en pacientes esquizofrénicos, con el consiguiente valor clínico de importancia diagnóstica y potencialmente terapéutica.

Estudios clínicos y de radiomarcación realizados

Se evaluó el comportamiento de las MAOs plaquetaria y sérica, así como la actividad transmetilante, en un grupo de pacientes esquizofrénicos, en comparación con un grupo de controles sanos, apareado en edad y género. Además, en el mismo grupo de pacientes y controles se realizó la cuantificación en orina de 24 horas de los indoles psicodislépticos *N,N*-dimetilserotonina (bufotenina) y *N,N*-dimetiltriptamina (DMT), demostrando la presencia de ambas indolalquilaminas, más precisamente indoletilaminas, en las muestras de orina de pacientes, como marcadores de la actividad de transmetilación (6). También se logró la categorización de los pacientes en estudio en cuatro fenotipos, encontrándose en estos casos de esquizofrenia un 94% de actividad de transmetilación superior a la normal (6,7). La transmetilación implica la producción de compuestos indólicos N,N-dimetilados en el metabolismo serotoninérgico, como bufotenina y DMT, debido a un disbalance funcional de la enzima indoletilamina-N-metiltransferasa (INMT) (EC 2.1.1.49), que ha sido detallado en uno de los trabajos (8).

También se observó correlación significativa entre la actividad transmetilante, la hipoactividad de MAO-B, la alteración de las MAOs intra- y extracelular y la presencia de indoletilaminas metiladas en orina en varios fenotipos esquizofrénicos, proporcionando una visión general del conjunto de análisis cuantitativos que deberían llevarse a cabo con el fin de establecer un diagnóstico más preciso y confiable de la esquizofrenia.

Todos estos resultados muestran que la actividad de transmetilación es importante en estos cuatro fenotipos, y no la hipoactividad de MAO. En realidad, la hipoactividad de MAO potencia el fenómeno de transmetilación.

Cuando los niveles de MAO fueron inferiores a los rangos normales debido a una hipoactividad marcada de esta enzima en los pacientes, e incluso cuando los niveles de MAO fueron normales, se incrementó la excreción urinaria de DMT y de bufotenina a causa de la hiperactividad de transmetilación.

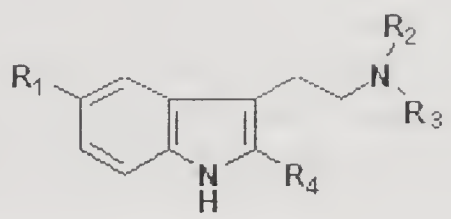
Por lo tanto, cuando hay hiperactividad de MAO (pocos casos) la aparición en orina de bufotenina y/o DMT no debería esperarse, ya que puede superar incluso la hipermetilación subyacente.

Estas *N,N*-dimetilindoletilaminas resultaron ser biomarcadores de estado para la expresión neuroquímica de fenotipos específicos de un subconjunto altamente significativo de estas patologías (ca. 70 %).

En función de los resultados obtenidos en la fase experimental en humanos, creció el interés de este grupo de investigación en conocer el comportamiento in vivo de DMT en comparación con serotonina y triptamina. Para ello, se procedió a realizar la radiomarcación de DMT, preparada en nuestros laboratorios, así como la radiomarcación de serotonina y triptamina con el emisor *gamma*, iodo-131, para llevar a cabo estudios a largo plazo, ya que el I-131 se desintegra con una vida media de 8.05 días (9) (Fig. 1). Estos estudios *in vivo* se efectuaron en conejos con observación en cámara *gamma* y consistieron en determinar primeramente si las indoletilaminas mencionadas pasan la barrera hematoencefálica (BHE) y en tal caso, analizar la captación en el cerebro, el tiempo de residencia y el *clearance* plasmático para cada uno de estos

compuestos. Se realizó la cinética de biodistribución a corto, mediano y largo plazo de indoletilaminas sin *N*-metilar y *N*-metiladas, en conejos (10).

Los tres compuestos mostraron un comportamiento diferente. La DMT marcada entró en el cerebro 10 segundos después de la inyección (DI), cruzó la BHE y se unió a los receptores, siendo parcialmente excretada por orina. Se detectó una parte en orina dentro de las 24 horas DI y otra porción permaneció en el cerebro, siendo aún detectable 7 días DI (se detectó 0,1% de la dosis inyectada en el bulbo olfatorio, en estudios adicionales de disección que realizáramos determinando la radiomarcación en las diferentes subestructuras cerebrales) (10,11).



Compuesto	R1	R2	R3	R4
Triptamina (T)	H	H	H	H
N,N-Dimetiltriptamina (DMT)	H	CH_3	CH_3	H
5-Hidroxitriptamina (5-HT)	OH	H	H	H
2-Iodo-triptamina (2-I-T)	H	H	H	I
2-Iodo-N,N-dimetiltriptamina (2-I-DMT)	H	CH_3	CH_3	I
2-Iodo-5-hidroxitriptamina (2-I-5-HT)	OH	H	H	I

Figura 1: Estructuras químicas de triptamina (T), *N,N*-dimetiltriptamina (DMT), 5-hidroxitriptamina (5-HT), 2-iodotriptamina (2-I-T), 2-iodo-*N,N*-metiltriptamina (2-I-DMT) y 2-iodo-5-hidroxitriptamina (2-I-5HT).

En cambio, serotonina y triptamina fueron rápidamente captadas en el cerebro y totalmente excretadas 10 minutos DI.

La captación cerebral de serotonina se expresó como porcentaje de la dosis inyectada de serotonina marcada (*ca.* 0,06%). Este es el primer trabajo de investigación que demuestra de manera concluyente que la serotonina cruza la BHE y entra en el cerebro *in vivo* en conejos (12).

El conjunto de estos resultados de radiomarcación de DMT, serotonina y triptamina representan la primera prueba científica de que la DMT exógena permanece en el cerebro durante al menos 7 días DI.

En cuanto a los receptores involucrados, las indoletilaminas DMT, serotonina y triptamina se comportan como agonistas de los receptores serotoninérgicos 5-HT_{2A} (agonismo total) y 5-HT_{2C} (agonismo parcial) (13,14), también de los receptores asociados a aminas en trazas (TAARs: *trace amine-associated receptors*) (15) y de los receptores chaperona sigma-1 (σ_1). Recientemente, experimentos bioquímicos, fisiológicos y de comportamiento demostraron que DMT es el agonista endógeno en los receptores *sigma*-1 (farmacóforo para el grupo *N,N*-dimetilo) (16) y también se ha publicado el esquema hipotético de señalización desencadenada por esta unión (17). Pero DMT, por ser una indoletilamina *N,N*-dimetilada se une más fuertemente a los receptores sigma-1 que serotonina y triptamina, como se demostrara recientemente en estudios in vitro, obteniendo los valores de constante de disociación (KD). Justamente la unión o binding de DMT a los receptores *sigma*-1 permite explicar el diferente comportamiento de DMT observado in vivo en el cerebro, frente a triptamina y serotonina.

La persistencia en el cerebro se puede además explicar por el hecho que DMT y otras *N,N*-dialquiltriptaminas son sustratos de dos transportadores: el transportador de serotonina de membrana plasmática (SERT: *plasma membrane serotonin transporter*) y el transportador 2 de monoaminas a vesículas ($VMAT_2$: *vesicle monoamine transporter 2*) (18). Por otra parte, el almacenamiento en vesículas evita la degradación de DMT por las enzimas MAO. A altas concentraciones, DMT es captada por SERT y luego almacenada en

vesículas mediante $VMAT_2$ para ser liberada ante estímulos apropiados.

Con estos trabajos también se estableció la relevancia de la marcación con I-131 como herramienta útil para llevar a cabo estudios in vivo a largo plazo, complementando la cinética de corto y mediano plazo (9,10).

Estos procesos de metilación de indoletilaminas, fenetilaminas y otros compuestos de bajo peso molecular, que se relacionan con algunos aspectos de la fisiopatología de la esquizofrenia, ocurren a través de un grupo de enzimas como las metiltransferasas de moléculas pequeñas dependientes de S-adenosilmetionina (SAMe), como hemos tratado en uno de los trabajos (8), siendo indoletilamina-*N*-metiltransferasa (INMT) la enzima específica que actúa sobre sustratos indólicos, que en particular interviene en la metilación de triptamina y de serotonina para dar DMT y *N,N*-dimetilserotonina (bufotenina).

El hecho que la actividad de INMT se incremente bajo condiciones de estrés, dando lugar a una producción de indoletilaminas metiladas, como DMT, explicaría también, al menos en parte, por qué la esquizofrenia es una enfermedad que evoluciona en brotes. El estrés que significa la alteración perceptual aumenta la transmetilación y, por lo tanto, ahí se cierra el círculo de retroalimentación, que activa agudamente la sintomatología.

Desde el punto de vista metabólico las metilaciones involucran a los ciclos de folato y de metionina, es decir el metabolismo de C_1 (19) que es central en la regulación de la homeostasis de la energía celular y de la metilación, confirmando su rol en la integración de los factores genéticos y ambientales por influir en la regulación epigenética.

Acotación sobre la parte experimental desarrollada en estas investigaciones

El Comité Institucional para el Uso y Cuidado de los Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Medicina (UBA) aprobó el protocolo de investigación en animales (conejos) correspondiente a esta investigación sobre el rol de las indoletilaminas en la fisiopatología molecular de la percepción, permitiendo administrar las indoletilaminas marcadas mediante catéter por la vena marginal de la oreja. Asimismo, en las mismas experiencias, se aprovecharon los animales para estudiar los compuestos de excreción renal mediante análisis cromatográfico, corroborado por espectrometría de masa por impacto electrónico (IE-EM). Estos ensayos son incruentos y no representan riesgo ni sufrimiento alguno para los animales en estudio. Los animales fueron colocados en distintos tiempos en la cámara-*gamma* en posición decúbito ventral sobre el cristal del detector, captando la imagen correspondiente.

El Comité de Ética Humana de la Facultad de Medicina (UBA) aprobó la obtención y el estudio de muestras de sangre y de orina de pacientes y controles para analizar la excreción de indoletilaminas N,N-dimetiladas en pacientes y controles, en un número con significancia estadística, eligiendo principalmente detectar bufotenina y DMT en orina. Este Comité también aprobó el dosaje de las enzimas MAO sérica y MAO plaquetaria en las muestras del mismo grupo de análisis, destacando que los ensayos de evaluación neuropsicológica y las técnicas de extracción de sangre y de muestras de orina son de rutina y no se salen del protocolo clínico/bioquímico convencional.

Receptores involucrados

La persistencia en el cerebro requiere un mayor análisis, como veremos a continuación.

Sabemos que DMT ejerce sus efectos psicodélicos a través del receptor 5-HT, específicamente el subtipo $5\text{-}HT_{2A}$ (20), identificado mediante el uso de la dietilamida semisintética del ácido lisérgico (LSD), que es alucinogénica. Sin embargo, concentraciones micromolares de DMT aumentan la producción de fosfatidilinositol de una manera que no es bloqueada por ketanserina que es antagonista del receptor $5\text{-}HT_{2A}$, lo cual sugiere que parte de la acción de DMT no está mediada exclusivamente a través de receptores serotoninérgicos. Con el descubrimiento de los receptores TAARs acoplados a proteínas G, que activan a adenilciclasa y causan la acumulación de AMPc (monofosfato de adenosina cíclico) (15), se especuló que los receptores TAARs mediaban parte de los efectos farmacológicos o psicodélicos de las aminas en trazas, incluyendo DMT, así como LSD. Si bien DMT a la concentración de 1 microMolar (1 μM) es tan potente como para provocar la acumulación de AMPc, como lo hace la amina en trazas prototípica triptamina, o bien LSD,

no está claro si los TAARs median el efecto psicodélico de las aminas en trazas como DMT, porque no se han probado antagonistas de TAARs en humanos en este aspecto. Más aún, los estudios de asociación de genes que intentaron asociar TAARs con perturbaciones psiquiátricas han generado resultados conflictivos en cuanto a si estos receptores están involucrados en las sintomatologías esquizofrénicas (17), incluyendo la alucinación.

DMT se une a los receptores sigma-1 con una afinidad de alrededor de 14 micromolar (14 μM) (16), pero su actividad es dependiente de su concentración, ya que cuando es alta (100 μM; alrededor de 7 veces más alta que su afinidad por el receptor *sigma*-1) inhibe los canales de sodio dependientes del voltaje (16), una acción característica de los ligandos del receptor *sigma*-1 y de estos receptores (21), incluyendo dentro de estas características los efectos locomotrices de DMT, comparable con un agonista prototípico de *sigma*-1, el análogo opioide conocido como SKF-10047 (22). Estos resultados definitivamente vinculan la acción de DMT al receptor *sigma*-1, el cual fue finalmente reconocido como un receptor no opioide (23), siendo su afinidad por SKF-10047 producto del grupo *N*-alilo que esta molécula posee.

Los receptores *sigma*-1 están muy agrupados en los microdominios lipídicos ricos en colesterol y ceramida en el subdominio especializado del retículo endoplasmático (es decir, en la membrana del retículo endoplasmático asociada a las mitocondrias: MAM: *mitochondria-associated ER membrane*) (24). El receptor chaperona *sigma*-1 tiene regulación operada por ligando. En el estado inactivo, forma un complejo de proteínas con otra chaperona del retículo endoplasmático, BiP, la proteína de unión a la inmunoglobulina (BiP: *binding immunoglobulin protein*). Los agonistas del receptor *sigma*-1 en concentraciones de afinidad (es decir, cercanas a sus valores de K_i) o el agotamiento de los iones calcio, Ca^{2+}, del retículo endoplasmático provocan la disociación del complejo *sigma*-1/BiP, con la consiguiente liberación de ambas proteínas actúan como chaperonas moleculares de los receptores IP_3 (1,4,5-trifosfato de inositol), que se encuentran en MAM (25). Los antagonistas bloquean la acción de los agonistas en este receptor.

La proteína del receptor *sigma*-1 estabiliza los canales iónicos del receptor IP_3, en particular el receptor IP_3-3 como uno de los principales canales intracelulares de liberación de Ca^{2+} en el retículo endoplasmático, que transfiere Ca^{2+} desde éste a las mitocondrias. Por lo tanto, aumenta la señalización de Ca^{2+} en esa dirección, activando de ese modo el ciclo de los ácidos tricarboxílicos y aumentando la producción de ATP (26). Es decir que los iones Ca^{2+} liberados en las mitocondrias, afectan críticamente las funciones mitocondriales, entre ellas, el metabolismo de la energía celular. Como vemos, la activación o inhibición del receptor *sigma*-1 tiene la potencialidad de influir en múltiples procesos celulares (27).

La función del receptor *sigma*-1 se ha relacionado con la modulación de la actividad de los canales iónicos y de los receptores acoplados a proteína G. Niveles bajos del receptor *sigma*-1 se encuentran en todas las regiones del SNC, siendo más abundante en las neuronas motoras del tronco cerebral y de la médula espinal; posee relación estrecha con la enzima transmetilante, indoletilamina-*N*-metiltransferasa (INMT) (8,28).

Además de su postulada acción psicotomimética, los receptores *sigma*-1 han sido implicados en enfermedades, como: adicción, depresión, amnesia, dolor, accidente cerebrovascular y cáncer (23).

La principal función de las chaperonas moleculares en el retículo endoplasmático es promover el correcto plegamiento de las proteínas recién sintetizadas. También regulan la degradación de proteínas mal plegadas mediante la transferencia a la maquinaria de degradación asociada al retículo endoplasmático (ERAD: *ER-associated degradation*) (29), evitando la acumulación de agregados tóxicos de proteínas. De esta manera, como otras chaperonas moleculares, los receptores *sigma*-1, o su regulación, demuestran suprimir la muerte celular por estrés celular en las neuronas corticales primarias, las células ganglionares de la retina, las células de ovario de hámster, el neuroblastoma y el glioma (25,30).

Si bien los receptores sigma-1 residen principalmente en el retículo endoplasmático, se pueden trasladar desde MAM a la membrana plasmática o al área de la membrana subplasmática al ser estimulados por concentraciones más altas (por ejemplo: cercanas a 10 veces K_i) de los ligandos de los mismos o cuando los receptores *sigma*-1 están sobreexpresados en las células. Esto puede explicar por qué concentraciones más altas de ligandos de estos receptores causan la inhibición de varios canales iónicos en la membrana plasmática y, en particular, por qué la concentración de DMT que inhibe canales, es casi 10 veces más alta

que su concentración de afinidad (16), como ocurriría en caso de una superproducción endógena. Mediante la activación de la translocación de los receptores *sigma*-1 desde MAM a la membrana plasmática o membrana subplasmática, altas concentraciones de ligandos pueden permitir que los receptores *sigma*-1 interactúen directamente inhibiendo las proteínas de los canales (16, 31).

Discusión de los resultados obtenidos

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, al igual que otros agonistas de los receptores *sigma*-1, DMT en concentraciones de afinidad (14 μM) (16) podría causar la disociación del complejo *sigma*-1/BiP (26), desencadenando la actividad de chaperona de la forma libre de los receptores *sigma*-1 en MAM, y a concentraciones más altas (100 μM) podría hacer que los receptores *sigma*-1 se translocaran desde MAM a la membrana plasmática para inhibir los canales iónicos dependientes del voltaje (16,32-35). No sabemos si el desencadenamiento de la acción de chaperona visto en las concentraciones de afinidad de DMT o la acción inhibidora de los canales iónicos causada por altas concentraciones de DMT, se relacionan con el efecto psicodélico inducido por DMT. Se necesitan más estudios, particularmente en humanos, para dar respuestas a estas preguntas.

Veamos cómo es posible lograr altas concentraciones de DMT en el cerebro. Los procesos activos de captación pueden concentrar DMT en varios pasos, resultando en concentraciones micromolares en el cerebro. Un mecanismo para alcanzar altas concentraciones locales de DMT dentro de las neuronas es probablemente a través de un proceso en dos pasos que incluya la captación a través de la membrana plasmática seguida por el secuestro en las vesículas sinápticas. DMT y compuestos relacionados son sustratos de los transportadores, no bloqueantes de la captación (18). DMT interactúa con SERT (transportador de serotonina) de la membrana plasmática, como con VMAT2 neuronal, con más afinidad que la serotonina misma.

Su permanencia, demostrada en la presente investigación, permitiría además su acumulación. A concentraciones altas, DMT puede llegar a los sitios de unión intracelular, transportada por SERT, y almacenarse dentro de las vesículas sinápticas mediante $VMAT_2$, para ser liberada bajo diversos estímulos como un genuino neurotransmisor en el espacio sináptico para interactuar con los receptores *sigma*-1 de la superficie celular, los receptores serotoninérgicos u otras dianas moleculares. Ésto explicaría el fenómeno de flashback del efecto psicodisléptico de los alucinógenos, como DMT, que reaparece erráticamente pasado cierto tiempo luego del consumo.

Esta combinación de mecanismos puede explicar nuestros resultados sobre la persistencia de DMT a largo plazo en el cerebro, junto con el hecho que el almacenamiento en las vesículas evita la degradación de DMT por la enzima MAO cerebral (MAO-B), que es una de las amino-oxidasas activas en el cuerpo humano (36,37).

A través de una variedad de maneras, los receptores sigma modulan fuertemente la concentración de Ca^{2+} intracelular en las células neuronales y no neuronales (38, 39). Sin embargo, no está claro si esta regulación del calcio está mediada por el receptor *sigma*-1, el receptor sigma-2 o bien, ambos. En cambio, la mayoría de estos efectos parecen estar mediados por vías indirectas.

Es de interés que, la localización de los receptores *sigma*-1 sea de naturaleza dinámica, ya que se translocan desde MAM a otras áreas de la célula (24), donde pueden interactuar con una gran cantidad de dianas de membrana, como: canales iónicos dependientes del voltaje, receptores ionotrópicos de glutamato y GABA, receptor D_1 de dopamina, receptores de acetilcolina muscarínicos y nicotínicos, receptor neurotrófico de tirosín-quinasa tipo 2 (TrkB: *tyrosine kinase receptor type 2*) y dianas intracelulares como las quinasas (por ejemplo: Src quinasa) y los receptores de trifosfato de inositol (IP_3) (24).

Los estudios de neuroimagen estructural y funcional de pacientes con esquizofrenia con alucinaciones auditivas (40), y estudios recientes de alucinaciones visuales inducidas sugieren que durante las mismas, alteraciones dinámicas, complejas, de conectividad coincidieron con una mayor actividad en regiones corticales específicas (41). Esto puede ser debido a la sobrecarga que alcanza la corteza debido a la función insuficiente de la precorteza. Este fenómeno puede ser secundario a la distorsión de la información, ya que la corteza prefrontal no está cumpliendo con la función específica.

Entonces, los receptores $5\text{-}HT_{2A}$ son importantes para explicar el rol en la actividad de DMT y otros

compuestos alucinógenos exógenos administrados en dosis suficientes. Después de la activación cerebral rápida, parte de DMT se excreta por orina, permaneciendo, sin embargo en el cerebro por al menos una semana, como demostramos en este trabajo, disminuyendo gradualmente, hasta llegar a detectarse 0,1% de la dosis inyectada (0,025 µg/g de cerebro) a los 7 días después de la misma.

Según nuestros resultados, la DMT marcada que se mantuvo en el cerebro de conejo se concentró en el bulbo olfatorio de los mismos [816 ± 51 cuentas por minuto (cpm) de DMT marcada con I-131], seguido por el pedúnculo olfatorio (101 ± 12 cpm) y tubérculo olfatorio (96 ± 9 cpm). La marcación fue muy baja en la corteza cerebral, el cerebelo y el bulbo raquídeo (*medulla oblongata*) (cada uno, 5 ± 2 cpm) (10). El sistema olfativo es especialmente importante en la vida de los conejos, pues es el más relevante de los sentidos en la elección de alimentos, detección de peligro, conducta defensiva, vida social, reproductiva, cuidado de las crías, etc. (42). En el SNC de los mamíferos, incluyendo los seres humanos, los olores están representados como patrones de actividad neuronal. La información sobre el olor se almacena fácilmente en la memoria a largo plazo y tiene fuertes conexiones con la memoria emocional. Los receptores olfativos en los mamíferos responden a los olores de algunas familias químicas, y transducen sus señales a la señalización AMPc intracelular (43). Las células mitrales en el bulbo olfatorio forman sinapsis con los axones dentro de los glomérulos, y se ramifican hacia cinco grandes regiones del cerebro: el núcleo anterior olfatorio, el tubérculo olfatorio, la amígdala, la corteza piriforme (identificación del olor), y la corteza entorrinal (respuestas emocionales y autónomas al olor, memoria del lugar, motivación y memoria). Las amígdalas son estructuras con grupos de neuronas consideradas parte del sistema límbico (parte del cerebro que se ocupa de las emociones) en los seres humanos y los vertebrados complejos, que desempeñan un papel fundamental en el procesamiento y la memoria de las reacciones emocionales. La depresión y otros trastornos del estado de ánimo, como la ansiedad, están relacionados con problemas de circuitos cerebrales emocionales que involucran a la amígdala. Los autorreceptores 5-HT_{1A} juegan un rol clave en la regulación de la respuesta de la amígdala (44). La connotación clínica es que en los pacientes esquizofrénicos la reacción no está de acuerdo con el estímulo. Estos receptores de serotonina regulan las respuestas emocionales del cerebro. Hay una relación inversa significativa entre la densidad del autorreceptor 5-HT_{1A} y la reactividad de la amígdala a los estímulos amenazantes, y este mecanismo parece reflejar los efectos de 5-HT_{1A} en el circuito de retroalimentación negativa que controla la liberación de serotonina (45). Todas estas afirmaciones se pueden extrapolar a pacientes esquizofrénicos, en ambas categorías de síntomas positivos y negativos propios de esta patología.

En los presentes experimentos, después de la inyección de DMT se produjeron efectos fisiológicos y bioquímicos a causa de una acción, dependiente de la dosis, en los receptores $5HT_{2A}$ principalmente, y con menos fuerza, en los receptores $5HT_{2C}$. Se ha analizado recientemente (46) el rol de los receptores 5-HT_{2A}, 5-HT_{2C} y receptores metabotrópicos de glutamato 2 ($mGlu_2$: *metabotropic glutamate receptors*) en los efectos conductuales de los alucinógenos DMT y *N,N*-diisopropiltriptamina en ratas y ratones, llegando a la conclusión que el receptor 5-HT_{2A} juega un rol importante en la mediación de los efectos de ambos compuestos, mientras que los receptores 5-HT_{2C} y $mGlu_2$ probablemente modulan, en cierto grado, los efectos de estímulo discriminativo de estos compuestos.

Justamente los receptores de serotonina 5-HT_{2A} y los de glutamato $mGlu_2$ han sido implicados en la fisiopatología de la esquizofrenia y otros trastornos psicóticos, así como en el mecanismo molecular de acción de drogas alucinógenas de abuso (47,48). El receptor $mGlu_2$ y el receptor 5-HT_{2A} forman un heterocomplejo receptor acoplado a proteína G (GPCR) funcional específico en el cerebro de mamíferos y en preparaciones de cultivo de tejidos. El receptor $mGlu_2$ interactúa a través de dominios específicos de hélices de transmembrana ($TM_{4/5}$) con 5-HT_{2A} para formar estos complejos funcionales en la corteza cerebral (49,50). En particular, a través de este complejo heteromérico específico los ligandos de serotonina y de glutamato modulan el patrón de acoplamiento de las proteínas G en las células vivas.

Este complejo 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ desencadena respuestas celulares únicas cuando es blanco de compuestos alucinógenos y la activación del receptor $mGlu_2$ suprime la señalización y las respuestas conductuales específicas del alucinógeno. En el cerebro humano *post mortem* de sujetos esquizofrénicos no tratados, 5-HT_{2A} está sobre-regulado y el receptor $mGlu_2$ está sub-regulado, un patrón que podría predisponer a la

psicosis. Estos cambios en la regulación indican que el complejo 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ puede estar involucrado en los procesos corticales alterados de la esquizofrenia, y por lo tanto, es una nueva diana prometedora para el tratamiento de la psicosis (49).

Así quedó validado el heterocomplejo 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ como necesario para los efectos conductuales inducidos por compuestos alucinógenos y se puso en evidencia un rol potencial para este complejo heteromérico en las alteraciones de la cognición y la percepción observadas en pacientes esquizofrénicos (50).

Por otra parte, los receptores 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ están generalmente acoplados a las proteínas $G_{q/11}$ y $G_{i/o}$ respectivamente. Así, por ejemplo, cuando no se forma el heterocomplejo, la activación de 5-HT_{2A} por LSD provoca la señalización característica de las proteínas $G_{q/11}$. Recientemente se demostró que los agonistas alucinogénicos de 5-HT_{2A} (como LSD, mescalina y psilocibina) activan a ambas proteínas $G_{q/11}$ y $G_{i/o}$ sólo cuando este receptor forma el heterocomplejo con $mGlu_2$ (49,51); siendo ésto confirmado in vivo. La sacudida de cabeza es una respuesta conductual que es provocada por alucinógenos, y está ausente en ratones 5-HT_{2A}-KO (KO: *knocked out*) (51), siendo además abolida en ratones $mGlu_2$-KO (52), lo que sugiere que el complejo 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ es necesario para las respuestas conductuales inducidas por agonistas alucinógenos de los receptores 5-HT_{2A}.

En nuestro trabajo, los efectos 'psicotomiméticos' de DMT se produjeron a través de la activación excesiva (una "sobrecarga") de los receptores $5HT_{2A}$, actuando sin duda como complejo 5-HT_{2A}/$mGlu_2$, y por lo tanto con una sobre-regulación de 5-HT_{2A} y una sub-regulación de $mGlu_2$. Hubo activación de la corteza prefrontal y cambios superpuestos en las regiones cortical, estriatal y talámica del cerebro.

La diafonía (crosstalk) funcional observada entre los componentes de los heterocomplejos de receptores acoplados a proteína G, como el complejo receptor 5-HT_{2A}/$mGlu_2$ en la esquizofrenia (49), proporciona un escenario único para el diseño racional de nuevos fármacos terapéuticos.

La transmisión de información dentro del cerebro involucra variaciones complejas y sutiles en la actividad neuronal. En particular, las señales eléctricas en el cerebro están constantemente moduladas y están muy influenciadas por inputs excitatorios (glutamato) e inhibitorios (GABA). Estos, a su vez, se traducen en potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios, que eventualmente darán lugar a potenciales de acción. Como se sabe, un potencial de acción viaja desde el compartimento somato-dendrítico a lo largo de un axón hasta su terminal presináptica, donde desencadena la liberación de neurotransmisores que transmiten información mediante la unión a sus receptores postsinápticos específicos en las neuronas adyacentes. Durante las últimas dos décadas, se ha demostrado que los receptores sigma (en particular los *sigma*-1) afectan a cada etapa de este proceso, tanto en el SNC como en el sistema nervioso periférico (38, 39).

Asimismo, actualmente se sabe que DMT es ligando endógeno de los receptores *sigma*-1 y por lo experimentado en este trabajo de investigación sabemos que DMT permanece en el cerebro presumiblemente unida a estos receptores, sin descartar los otros dos tipos, serotoninérgicos y asociados a aminas en trazas, lo cual altera el funcionamiento normal de todos ellos. Un cambio persistente en cualquiera de los eventos indicados en el párrafo anterior, afecta a la información de codificación e impacta en los procesos cognitivos o sensoriales subyacentes.

Los canales iónicos dependientes del voltaje son críticos para dar forma a los potenciales de acción (53). Los canales dependientes del voltaje de sodio (Na^+), de calcio (Ca^{2+}) y de potasio (K^+) se dividen en muchos subtipos, estando cada familia compuesta por subfamilias (32-35). Los principales canales iónicos que dan forma a la excitabilidad neuronal global son: los canales iónicos dependientes del voltaje (por ejemplo: Na^+, Ca^{2+} y K^+) para la excitabilidad intrínseca y los canales iónicos activados por ligando [ejemplo: receptores de glutamato y de GABA tipo A (GABAA)] para la excitabilidad sináptica. Todo ésto se vería seriamente afectado por la persistencia de unión de DMT a los receptores 5-HT_{2A} y *sigma*-1, así como el funcionamiento normal esperado para un ligando de *sigma*-1, con la consiguiente pérdida de neuroprotección y de crecimiento de las neuritas, afectando así a la cognición y al metabolismo cerebral.

Nuestros hallazgos referidos a que DMT se mantuvo durante mucho tiempo (detectado en grandes cantidades después de dos días, y estando presente hasta siete días después de la administración de DMT marcada) en el cerebro del conejo están indicando que DMT toca sitios diana en receptores selectivos de las neuronas postsinápticas, y esta ocupación del receptor comienza los eventos postsinápticos de la trans-

misión química.

DMT parece comportarse en las cascadas bioquímicas, especialmente en aquellas que regulan la expresión de los genes post-sinápticos. La alteración de estos procesos está en la génesis de diversas enfermedades mentales y/o neurológicas (54).

Así, DMT puede desarrollar una reacción postsináptica profunda, que por lo visto puede tardar días en desarrollarse y durar por un tiempo, hasta ahora no establecido; ésto obviamente produce un desequilibrio molecular con consecuencias clínicas claramente expresadas en las patologías mentales y particularmente las psicosis esquizofrénicas.

En primer lugar, la ocupación permanente por DMT del receptor en la neurona postsináptica puede conducir a cambios estructurales de estos receptores, tal que los procesos bioquímicos desencadenados a través de las señales intracelulares de los mensajeros, conducentes a cascadas bioquímicas, serán probablemente modificados. Si por ejemplo, en el exterior de la membrana celular, los receptores se unen a ligandos biológicamente activos, como DMT, se altera la actividad enzimática asociada con la parte intracelular del receptor. Esto puede afectar a la asociación del receptor con mediadores intracelulares, o bien, la localización o función de esos mediadores. Estos a su vez alteran la actividad de las enzimas "efectoras". Algunos efectores pueden moverse al núcleo y controlar la expresión génica, o pueden inducir a otras proteínas a hacerlo. Otros tienen como diana moléculas pequeñas, ya sea generando mediadores adicionales de señalización (segundos mensajeros) o controlando el estado metabólico de la célula. Por lo tanto, las señales que llegan al núcleo celular y además activan la expresión génica, se verán alteradas y, en consecuencia, también lo estarán las otras cascadas bioquímicas a iniciarse. Alterándose definitivamente, la síntesis de proteínas de estas neuronas.

Todos estos hechos tienen gran relevancia clínica.

Las alteraciones en la fisiología de la cascada de eventos causarán cambios en la expresión génica, a partir de los cuales el proceso tiende a ser crónico si persiste el desequilibrio, lo cual implica la importancia del diagnóstico del endofenotipo neuroquímico que está expresando la predisposición genética.

Los cambios en los eventos de la neurotransmisión postsináptica expresados en una síntesis de proteínas darán lugar a alteraciones en el mensaje interneuronal. Cuando ésto ocurre en una ruta relacionada con la percepción dará lugar a dispercepciones, alucinaciones, y toda una serie de síntomas relacionados.

Recientemente se encontró que la enzima indol-*N*-metiltransferasa (INMT) que convierte triptamina en el ligando DMT de los receptores *sigma*-1, está a nivel celular localizada, conjuntamente con estos receptores, en las motoneuronas de las densidades postsinápticas colinérgicas, también conocidas como *C*-terminales (28). Esta asociación estrecha de INMT y los receptores *sigma*-1 sugiere que DMT es sintetizada localmente para activar eficazmente al receptor *sigma*-1 en las neuronas motoras (28). Los *C*-terminales fueron descubiertos hace 45 años, pero su función ha sido recientemente revelada, encontrándose que aumentan la excitabilidad de las motoneuronas, especialmente bajo condiciones de estrés (55). Los *C*-terminales poseen el receptor muscarínico de acetilcolina tipo 2 (M_2AchR: *muscarinic type 2 acetylcholine receptor*) que es un receptor acoplado a proteína G (56), los canales de potasio K_{v21} (57) y SK (canales de potasio de pequeña conductancia activados por calcio) (58), localizados en la membrana plasmática postsináptica, mientras que el receptor *sigma*-1 se localiza en las cisternas de la subsuperficie ubicadas a menos de 10 nanometros (nm) de la membrana plasmática (59). Por lo tanto, es razonable proponer que ocurra una interacción directa proteína/proteína entre el receptor y los canales de potasio, permitiendo la regulación del receptor *sigma*-1. Es decir que el receptor sigma-1 afecta a la función motora, probablemente a través de su acción a nivel de las neuronas motoras (58-60).

La activación del M_2AChR en las motoneuronas inhibe algunos canales de potasio, probablemente los del tipo SK, lo cual podría reducir la duración de la hiperpolarización posterior (61), dando lugar a una mayor frecuencia de disparo de las motoneuronas y generando una contracción muscular más fuerte. Se ha demostrado que el receptor *sigma*-1 regula la actividad de algunos canales iónicos dependientes del voltaje, presumiblemente a través de su interacción directa (31).

En conjunto esta cadena de eventos causaría un aumento del eflujo de potasio, mayor hiperpolarización posterior y una disminución de la frecuencia de disparo. De esta manera el receptor *sigma*-1 podría servir

como un freno que controle la excitabilidad de las motoneuronas.

Conclusiones

Nuestro trabajo realizado en pacientes ha demostrado que existe metilación aberrante (por encima del porcentaje normal) en el 94% de los pacientes esquizofrénicos estudiados, teniendo además 74% de ellos hipoactividad de MAO. Esta hipertransmetilación ocurre por acción de la enzima INMT, que se biosintetiza principalmente en los receptores sigma-1 (62). DMT es ligando endógeno de estos últimos, actuando además en los receptores serotoninérgicos 5-HT_{2A} y 5-HT_{2C}, conocidos también por ser dianas de moléculas potentemente alucinógenas.

Los ligandos del receptor *sigma*-1 también modulan las redes de neurotransmisores excitatorios, tales como el sistema colinérgico, mediante, por ejemplo, la inhibición de la acumulación de IP_3 acoplado al receptor muscarínico. La translocación, inducida por ligando, del receptor *sigma*-1 desde MAM a la membrana plasmática participa probablemente en la modulación de la actividad de los canales de potasio dependientes del voltaje, ejercida por la interacción de ligandos con los receptores *sigma*-1. Además, las proteínas del receptor *sigma*-1 están estrechamente asociadas con y alostéricamente moduladas mediante los receptores nicotínicos de acetilcolina. Debido a que los sistemas glutamatérgico y colinérgico juegan un papel importante en los procesos de la memoria, se sugiere que los receptores *sigma*-1 tienen también un impacto importante en estos procesos.

El farmacóforo del receptor *sigma*-1 incluye una subestructura de alquilamina *N,N*-dimetilada. Por lo tanto, los compuestos *N,N*-dimetilados, como DMT, se unen a los receptores *sigma*-1 fuertemente (K_D= 14,75 μM) y mucho más que la triptamina (K_D = 431,55 μM). Más aún, DMT modula la actividad chaperónica de sigma-1 y afecta a los canales iónicos en concentraciones micromolares (16).

Asimismo, resulta importante destacar que cuando se administró una inyección intraperitoneal de DMT, los ratones de tipo salvaje mostraron hipermovilidad, mientras que al inyectar DMT en ratones *sigma*-1-KO, no presentaron cambios de comportamiento (16). Estos hallazgos moleculares y conductuales son importantes porque proporcionan una vía adicional de acción, la de los *sigma*-1, distinta de los receptores de serotonina, para seguir investigando los efectos biológicos de las sustancias psicodislépticas.

Una acción agonista continua de los receptores *sigma*-1 debido a la cantidad excesiva de DMT [ligando endógeno de *sigma*-1] como se demostró aquí, cambiaría la función de *sigma*-1, probablemente debido a mantener la partición del complejo *sigma*-1/Bip, cambiando así el papel importante de chaperona tanto de *sigma*-1 como de Bip. Esto probablemente alteraría la acción chaperónica de la proteína sobre las proteínas mal plegadas.

El receptor *sigma*-1 es la primera chaperona molecular cuya actividad está regulada mediante compuestos sintéticos de una manera clara agonista-antagonista. Esta característica única puede proporcionar una nueva oportunidad farmacológica para aliviar la acumulación de proteínas mal plegadas.

La comunicación entre el retículo endoplasmático y las mitocondrias es importante para la bioenergética y la supervivencia celular. El retículo endoplasmático suministra Ca^{2+} directamente a las mitocondrias a través de los receptores IP_3, en estrecho contacto entre las dos organelas denominada MAM. El receptor *sigma*-1 del retículo endoplasmático, que está implicado en la neuroprotección, la carcinogénesis y la neuroplasticidad, es un receptor chaperona sensible a Ca^{2+} y operado por ligando en MAM. Ante el agotamiento de Ca^{2+} en el retículo endoplasmático o por estimulación mediante ligando, se disocia el complejo *sigma*-1/BiP, lo cual conduce a una prolongada señalización de Ca^{2+} en las mitocondrias a través de los receptores de IP_3. Los receptores *sigma*-1 pueden trasladarse bajo estrés crónico del retículo endoplasmático. El aumento de receptores *sigma*-1 en las células contrarresta la respuesta de estrés del retículo endoplasmático, mientras que su disminución potencia la apoptosis. Estos resultados revelan que la maquinaria orquestada de las chaperonas del retículo endoplasmático en MAM, mediante la detección (sensing) de las concentraciones de Ca^{2+} en el retículo endoplasmático, regula la señalización de Ca^{2+} interorganelar retículo endoplasmático-mitocondrial y la supervivencia celular.

Esta persistencia de DMT en los receptores *sigma*-1 con la consiguiente alteración en las vías de señalización y en la bioenergética celular, y en las vías de la kinurenina del metabolismo del triptofano, daría

lugar a una marcada disminución en la síntesis de ATP, que se expresa en los síntomas negativos de estos pacientes, por ejemplo: astenia, aplanamiento emocional, apatía, indiferencia y otros.

Las drogas alucinógenas, como LSD, mescalina y psilocibina, todas tienen en común una alta afinidad por el receptor serotoninérgico 5-HT_{2A}, en particular como el heterocomplejo receptor 5-HT_{2A}-$mGlu_2$. Ambos receptores han sido implicados en la fisiopatología de la esquizofrenia y otros trastornos psicóticos, así como en el mecanismo molecular de acción de drogas alucinógenas de abuso.

Debido a la metilación aberrante observada en varios fenotipos esquizofrénicos se forma de manera endógena DMT, entre otras indoletilaminas *N*-monometiladas y *N,N*-dimetiladas, mediante un mecanismo genéticamente condicionado.

Nuestros resultados de ocupación permanente de DMT de los receptores postsinápticos (especialmente 5-HT_{2A} y *sigma*-1) pueden conducir con el tiempo a cambios estructurales de estos receptores y trastornos en los eventos de la neurotransmisión postsináptica, expresados en la síntesis de proteínas, lo que dará lugar además a alteraciones en el mensaje interneuronal. Ésto causará dispercepciones, alucinaciones y síntomas relacionados.

Epílogo

La precocidad y especificidad del diagnóstico temprano sigue siendo fundamental, y en base a la investigación presentada en pacientes esquizofrénicos, surge lo que llamaríamos "set neuroquímico molecular diagnóstico" que estaría configurado por:

- La presencia de una o más indolalquilaminas metiladas (DMT, bufotenina y/o *O*-metilbufotenina) en orina de 24 horas en cantidades anormalmente altas.
- El diagnóstico de una hiperactividad transmetilante en sangre (ensayo de *N*-metilación).
- Hipoactividad de MAO, particularmente plaquetaria (MAO-B).

Cuánto más de estos factores encontremos en el paciente en estudio, mayor el grado de certeza diagnóstica, independientemente de la edad y el género del mismo. Además, permite diagnosticar esquizofrenias enmascaradas en severos cuadros, TOC, fóbicos, depresivos y bipolares, como lo demostráramos oportunamente (Fig. 2) (63,64).

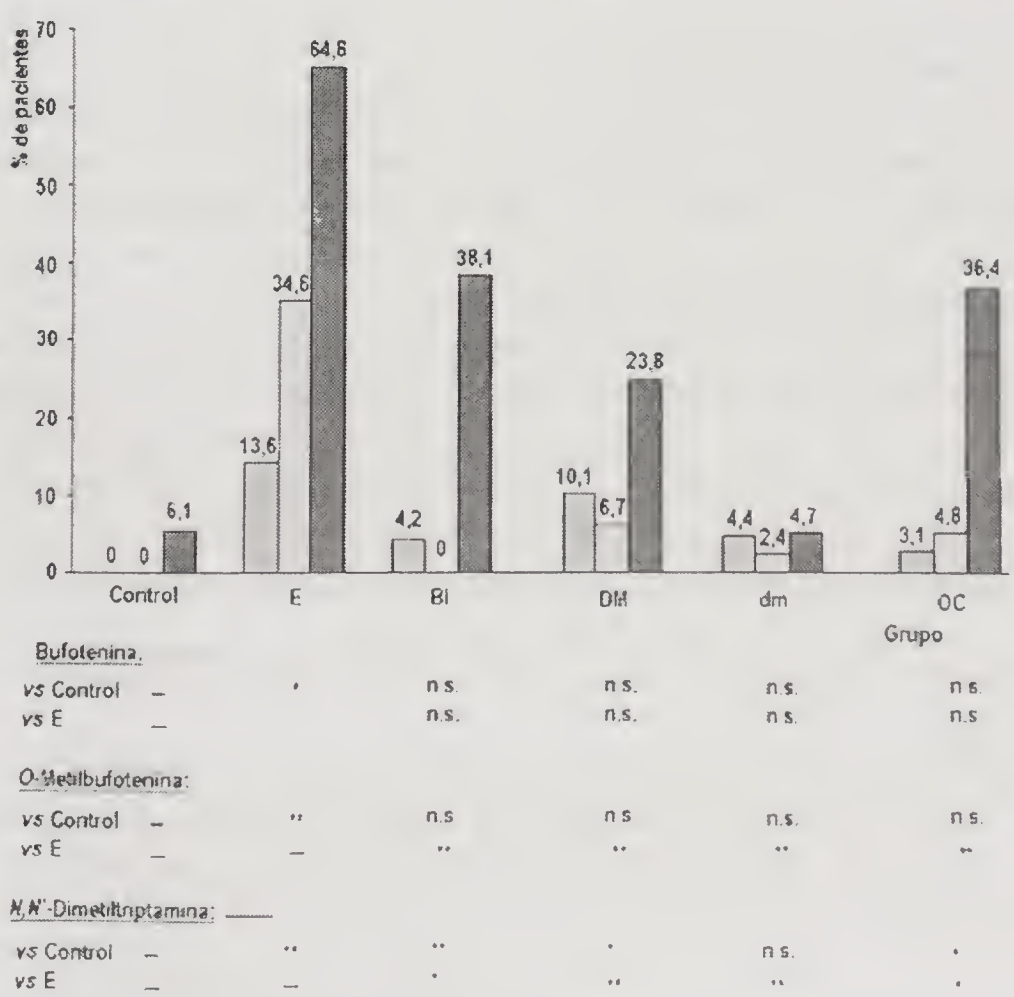


Figura 2: Bufotenina por encima de 8.9 µg/24 h. *O*-metilbufotenina y *N,N'*-dimetiltriptamina en pacientes

y controles. E: pacientes esquizofrénicos; Bi: pacientes bipolares; DM: pacientes depresivos mayores; dm: pacientes depresivos menores; OC: pacientes obsesivos-compulsivos; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; n.s.: no significativo.

Como herramienta clínica hemos descripto el test diagnóstico de Hoffer y Osmond (65) específico para esquizofrenia, en su versión que adaptáramos al castellano (66), que fuera autorizada en 1977 por esos autores y que hemos utilizado desde entonces en varios cientos de casos, mostrando su sensibilidad y eficacia.

Estos autores desarrollaron además un tratamiento basado en la utilización de altas dosis de vitamina B_3 (niacina, ácido nicotínico o vitamina PP), así como vitaminas B_1 (tiamina), B_6 (piridoxina) y C (ácido *L*-ascórbico) (67), que recibió el nombre de ortomolecular, término y base teórica formal acuñados en 1968 por Linus Pauling (68), dos veces Premio Nobel de Química y de la Paz. Este concepto inicial de Psiquiatría Molecular se ha extendido actualmente a un área de la medicina general, como lo prueba la fundación de la Sociedad Argentina de Medicina Metabólica Ortomolecular, afiliada a la *International Society of Orthomolecular Medicine* (71). Intenta enfatizar el hecho de aplicar compuestos naturales (69,70), propios del metabolismo del SNC, para la recuperación de su equilibrio, sin interferir en otros aspectos del mismo, liberando así a este modelo terapéutico de efectos colaterales indeseados.

Actualmente, el término se ha extendido hasta transformarse en un área de la medicina general, como lo prueba la fundación de la Sociedad Argentina de Medicina Metabólica Ortomolecular, afiliada a la *International Society of Orthomolecular Medicine* (71).

Es interesante señalar aquí que el primer estudio doble ciego en la historia de la psiquiatría se hizo con niacina dirigido por el propio Hoffer.

El principio básico es que la nicotinamida se excreta como N^1-metilnicotinamida removiendo por tanto el exceso de grupos metilo. Esto es fácilmente comprobable pues altas dosis de nicotinamida en pacientes esquizofrénicos se acompañan de una excreción de N^1-metilnicotinamida diaria muy cercana a la dosis administrada (como lo demostráramos en casos clínicos), en cambio en voluntarios normales la cantidad de N^1-metilnicotinamida excretada con dosis semejantes es muchísimo más baja y la nicotinamida excedente es eliminada como tal. El aumento del nivel plasmático de N^1-metilnicotinamida después de una carga oral de nicotinamida se ha medido recientemente en humanos (72). Estos autores demostraron que la administración por vía oral de 100 mg de nicotinamida, administrada a voluntarios sanos, produce un significativo aumento de la serotonina y la histamina.

Hoy entendemos claramente el mecanismo por el cual ésto sucede pues el loading de nicotinamida actúa sobre la vía kinurénica del metabolismo del triptofano en su última instancia revirtiendo el proceso. Este mismo fenómeno, pero en dosis neurotrópicas (dosis con acción neurotrópica, es decir que mejora el metabolismo del SNC y del periférico) se transformaría en una terapéutica para un metabolismo alterado como es el caso de varios fenotipos de esquizofrenia.

Como podemos observar el hecho de tener bloqueados, por el exceso de DMT, los receptores *sigma*-1 (con la consiguiente alteración en las vías de señalización y bioenergética celular) y la vía de las kinureninas en el metabolismo del triptofano, que por la hiperactividad transmetilante toma la vía metilante disminuyendo el aporte a las mencionadas vías kinurénicas con la consecuente disminución de la síntesis de ácido nicotínico y nicotinamida, básicos en la síntesis de ATP, ambos fenómenos conducen a una hiposíntesis de ATP, lo cual se expresa energéticamente en los síntomas negativos de estos pacientes: astenia, aplanamineto emocional, abulia, apatía, indiferencia y otros.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET). También al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) por el acceso a la biblioteca digital (*ScienceDirect*). A.B.P. es Investigadora Superior de CONICET.

REFERENCIAS

1. Vitale A. A., Calviño M. A., Ferrari C., Pomilio A. B., Ciprian Ollivier J., Cetkovich-Bakmas M. [A fast and sensitive method to detect primary and secondary nonphenolic amines in human urine]. Método rápido y sensible para detectar aminas primarias y secundarias no fenólicas en orina humana. Acta Bioquím. Clín. Latinoamer. 1995; 29: 37-46.

2. Ciprian Ollivier J. O., Cetkovich-Bakmas M. G., Boullosa O., López-Mato A., Gómez E., Vitale A. A., Pomilio A. B. "Ayahoasca": an experimental psychosis that mirrors the transmethylation hypothesis of perceptual alterations in schizophrenia. (Resumen 87, pág. 205-206). Critical Issues in the Treatment of Schizophrenia. International Academy for Biomedical and Drug Research. Palazzo dei Congressi. Florencia, Italia, 10 al 12 de marzo de 1995.

3. Pomilio A. B., Vitale A., Ciprian Ollivier J., Cetkovich Bakmas M. A chemical approach to the undcstanding of schizophrenia. An. Asoc. Quím. Argent. 1998; 86: 320-335..

4. Pomilio A. B., Vitale A. A., Ciprian Ollivier J., Cetkovich Bakmas M., Gomez R., Vazquez G. Ayahoasca: an experimental psychosis that mirrors the transmethylation hypothesis of schizophrenia. J. Ethnopharmacol. 1999; 65: 29-51.

5. Pomilio A. B., Vitale A., Ciprian Ollivier J. Cult-Hoasca: A model for schizophrenia. Mol. Med. Chem. 2003; 1: 1-7.

6. Vitale A. A., Ciprian-Ollivier J., Vitale M. G., Romero E., Pomilio A. B. Estudio clínico de marcadores de la hipermetilación indólica en las alteraciones de la percepción. [Clinical studies of markers of the indolic hypermethylation in human perception alterations]. Acta Bioquím. Clín. Latinoamer. 2010; 44: 627-642.

7. Ciprian Ollivier J. O., Spatz J., Spatz N., Vitale A. A., Pomilio A. B. Sustrato neurometabólico de las alteraciones perceptuales en psicosis esquizofrénicas: relevancia en la precocidad diagnóstica y terapéutica. [Neurometabolic substrate of perceptual disturbances in schizophrenic psychoses: relevance of early diagnosis and treatment]. Acta Psiquiátr. Psicol. Am. Lat. 2013; 59: 3-17.

8. Pomilio A. B., Vitale M. G., Ciprian Ollivier J. O., Vitale A. A. [Methyltransferases in human metabolism. Clinical implications of small molecule methyltransferases]. Metiltransferasas en el metabolismo humano. Implicancias clínicas de metiltransferasas de moléculas pequeñas. Acta Bioquím. Clín. Latinoamer. 2016; 50: 77-98.

9. Sintas J. A., Vitale A. A. Synthesis of 131I derivatives of indolealkylamines for brain mapping. J. Labelled Compnds. Radiopharm. 1997; 39: 677-684.

10. Vitale A. A.,_Pomilio A. B.,_Cañellas C. O.,_Vitale M. G.,_Putz E. M.,_Ciprian-Ollivier J. O. In vivo long-term kinetics of radiolabeled N,N-dimethyltryptamine and tryptamine. J. Nuclear Med. 2011; 52: 970-977.

11. Cañellas C. O., Pomilio A. B., Vitale A. A., Ciprian Ollivier J. O., Knez J. M., Pavan M., de Castiglia S. G., Nevares N., Calcagno F. G., Glait H. Síntesis y marcación con 131I y 99mTc de N,N-dimetiltriptamina (N,N-DMT): su utilidad en la visualización de receptores serotoninérgicos. XX Congreso ALASBIMN (Internacional), Punta del Este, Uruguay, 4 al 7 de diciembre de 2005.

12. Ciprian Ollivier J. O., Vitale A. A., Cañellas C. O., Vitale M. G., Pomilio A. B. In vivo long-term kinetics by planar imaging studies of radiolabelled N,N-dimethyltryptamine, serotonin and tryptamine in rabbits. Topic: 40. Schizophrenia: Basic/Clinical. 12th World Congress of Biological Psychiatry, 14-18 June, 2015, Athens, Greece.

13. Glennon R. A. Do classical hallucinogens act as 5-HT2 agonists or antagonistss? Neuropsychopharmacol. 1990; 3: 509-517.

14. Smith R. L., Canton H., Barrett R. J., Sanders-Bush E. Agonist properties of N,N-dimethyltryptamine at serotonin 5-HT2A and 5-HT2C receptors. Pharmacol. Biochem. Behav. 1998; 61: 323-330.

15. Borowsky B., Adham N., Jones K.A., Raddatz R., Artymyshyn R., Ogozalek K. L., Durkin M. M., Lakhlani P. P., Bonini J. A., Pathirana S., Boyle N., Pu X., Kouranova E., Lichtblau H., Ochoa F. Y., Branchek T. A., Gerald C. Trace amines: Identification of a family of mammalian G protein-coupled receptors. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2001; 98: 8966-8971.

16. Fontanilla D., Johannessen M., Hajipour A. R., Cozzi N. V., Jackson M. B., Ruoho A. E. The hallucino-

gen N,N-dimethyltryptamine (DMT) is an endogenous σ-1 receptor regulator. Science 2009; 323: 934-937.
17. Su T.-P., Hayashi T., Vaupel D. B. When the endogenous hallucinogenic trace amine N,N-dimethyltryptamine meets the σ-1 receptor. Sci. Signal. 2009; 2: pe12.
18. Cozzi N. V., Gopalakrishnan A., Anderson L. L., Feih J. T., Shulgin A. T., Daley P. F., Ruoho A. E. Dimethyltryptamine and other hallucinogenic tryptamines exhibit substrate behavior at the serotonin uptake transporter and the vesicle monoamine transporter. J. Neural Transm. 2009; 116: 1591-1599.
19. Krebs M. O., Bellon A., Mainguy G., Jay T. M., Frieling H. One-carbon metabolism and schizophrenia: current challenges and future directions. Trends Mol. Med. 2009; 15: 562-570.
20. Deliganis A. V., Pierce P. A., Peroutka S. J. Differential interactions of dimethyltryptamine (DMT) with 5-HT1A and 5-HT2 receptors. Biochem. Pharmacol. 1991; 41: 1739-1744.
21. Cheng Z. X., Lan D. M., Wu P. Y., Zhu Y. H., Dong Y., Ma L., Zheng P. Neurosteroid dehydroepiandrosterone sulfate inhibits persistent sodium current in rat medial prefrontal cortex via activation of sigma-1 receptors. Exp. Neurol. 2008; 210: 128-136.
22. Langa F., Condony X., Tovar V., Lavado A., Gimenez E.. Cozar P., Cantero M., Dordal A., Hernandez E., Perez R., Monroy X., Zamanillo D., Guitart X., Montoliu L. Generation and phenotypic analysis of sigma receptor type 1 (sigma 1) knockout mice. Eur. J. Neurosci. 2003; 18: 2188-2196.
23. Su T.-P., London E. D., Jaffe J. H. Steroid binding at sigma receptors suggests a link between endocrine, nervous, and immune systems. Science 1988; 240: 219-221.
24. Su T.-P., Hayashi T., Maurice T., Buch S., Ruoho A. E. The sigma-1 receptor chaperone as an inter-organelle signaling modulator. Trends Pharmacol. Sci. 2010; 31: 557-566.
25. Hayashi T., Su T.-P. Sigma-1 receptor chaperones at the ER-mitochondrion interface regulate Ca2+ signaling and cell survival. Cell 2007; 131: 596-610.
26. Hayashi T., Rizzuto R., Hajnoczky G., Su T.-P. MAM: more than just a housekeeper. Trends Cell Biol. 2009; 19: 81-88.
27. Decuypere J. P., Monaco G., Missiaen L., De Smedt H., Parys J. B., Bultynck G. IP3 receptors, mitochondria, and Ca2+ signaling: implications for aging. J. Aging Res. 2011; 2011: Article ID 920178.
28. Mavlyutov T. A., Epstein M. L., Liu P., Verbny Y. I., Ziskind-Conhaim L., Ruoho A. E. Development of the sigma-1 receptor in C-terminals of motoneurons and colocalization with the N,N'-dimethyltryptamine forming enzyme, indole-N-methyl transferase. Neuroscience 2012; 206: 60-68.
29. Schroder M., Kaufman R. J. The mammalian unfolded protein response. Annu. Rev. Biochem. 2005; 74: 739-789.
30. Megalizzi V., Le Mercier M., Decaestecker C. Sigma receptors and their ligands in cancer biology: overview and new perspectives for cancer therapy. Med. Res. Rev. 2012; 32: 410-427.
31. Aydar E., Palmer C. P., Klyachko V. A., Jackson M. B. The sigma receptor as a ligand-regulated auxiliary potassium channel subunit. Neuron 2002; 34: 399-410.
32. Zhang H., Cuevas J. Sigma receptors inhibit high-voltage-activated calcium channels in rat sympathetic and parasympathetic neurons. J. Neurophysiol. 2002; 87: 2867-2879.
33. Martina M., Turcotte M. E., Halman S., Begeron R. The sigma-1 receptor modulates NMDA receptor synaptic transmission and plasticity via SK channels in rat hippocampus. J. Physiol. 2007; 578: 143-157.
34. Renaudo A., L'Hoste S., Guizouarn H.. Borgese F., Soriani O. Cancer cell cycle modulated by a functional coupling between sigma-1 receptors and Cl- channels. J. Biol. Chem. 2007; 282: 2259-2267.
35. Herrera Y., Katnik C.. Rodriguez J. D., Hall A. A., Willing A.; Pennypacker K. R., Cuevas J. Sigma-1 receptor modulation of acid-sensing ion channel a (ASICa) and ASICa-induced Ca2+ influx in rat cortical neurons. J. Pharmacol. Exp. Ther. 2008; 327: 491-502.
36. Pomilio A. B., Ciprian Ollivier J., Vitale A. A. [Flavoproteins acting as amine oxidases: structure, function and clinical significance]. Flavoproteinas que actúan como amino-oxidasas. Estructura, función e importancia clínica. Acta Bioquím. Clín. Latinoamer. 2013; 47: 279-305.
37. Pomilio A. B., Ciprian Ollivier J., Vitale A. A. Lisil-oxidasa (LOX) y proteínas tipo LOX: rol de amino-oxidasas, propiedades moleculares y cataliticas. Acta Bioquím. Clín. Latinoamer. 2013; 47: 645-660.
38. Maurice T., Su T.-P. The pharmacology of sigma-1 receptors. Pharmacol. Ther. 2009; 124: 195-206.

39. Fishback J. A., Robson M. J., Xu Y. T., Matsumoto R. R. Sigma receptors: potential targets for a new class of antidepressant drug. Pharmacol. Ther. 2010; 127: 271-282.
40. Allen P., Modinos G., Hubl D., Shields G., Cachia A., Jardri R., Thomas P., Woodward T., Shotbolt P., Plaze M., Hoffman R. Neuroimaging auditory hallucinations in schizophrenia: from neuroanatomy to neurochemistry and beyond. Schizophr. Bull. 2012; 38: 695-703.
41. Ffytche D. H. The hodology of hallucinations. Cortex 2008; 44: 1067-1083.
42. O'Connor S., Jacob T. J. C. Neuropharmacology of the olfactory bulb. Curr. Mol. Pharmacol. 2008; 1: 181-190.
43. Krautwurst D. Human olfactory receptor families and their odorants. Chem. Biodivers. 2008; 5: 842-852.
44. Fisher P. M., Meltzer C. C., Ziolko S. K., Price J. C., Hariri A. R. Capacity for 5HT1A mediated autoregulation predicts amygdala reactivity. Nat. Neurosci. 2006; 9: 1362-1363.
45. Descarries L., Riad M., Parent M. Ultrastructure of the Serotonin Innervation in the Mammalian Central Nervous System. En: Handbook of Behavioral Neuroscience. Chapter 1.4, Vol. 21, 2010; pp. 65-101.
46. Carbonaro T. M., Eshleman A. J., Forster M. J., Cheng K., Rice K. C., Gatch M. B. The role of 5-HT2A. 5-HT2C and mGlu2 receptors in the behavioral effects of tryptamine hallucinogens N,N-dimethyltryptamine and N,N-diisopropyltryptamine in rats and mice. Psychopharmacology (Berl.) 2015; 232: 275-284.
47. González-Maeso J., Sealfon S. C. Psychedelics and schizophrenia. Trends Neurosci. 2009; 32: 225-232.
48. Pomilio A. B., Vitale M. G., Vitale A. A. Drogas de Abuso: Análisis Cuali/Cuantitativo y Casos Forenses. Características y Aspectos Legales. Editorial Académica Española, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Alemania, junio 2017. ISBN: 978-3-330-09338-6.
49. González-Maeso J., Ang R. L., Yuen T., Chan P., Weisstaub N. V., López-Giménez J. F., Zhou M., Okawa Y., Callado L. F., Milligan G., Gingrich J. A., Filizola M., Meana J. J., Sealfon S. C. Identification of a serotonin/glutamate receptor complex implicated in psychosis. Nature 2008; 452: 93-97.
50. Moreno J. L., Muguruza C., Umali A., Mortillo S., Holloway T., Pilar-Cuéllar F., Mocci G., Seto J., Callado L. F., Neve R. L., Milligan G., Sealfon S. C., López-Giménez J. F., Meana J. J., Benson D. L., González-Maeso J. Identification of three residues essential for 5-Hydroxytryptamine 2A-metabotropic Glutamate 2 (5-HT2A•mGlu2) receptor heteromerization and its psychoactive behavioral function. J. Biol. Chem. 2012; 287: 44301-44319.
51. Gonzalez-Maeso J., Weisstaub N. V., Zhou M., Chan P., Ivic L., Ang R., Lira A., Bradley-Moore M., Ge Y., Zhou Q., Sealfon S. C., Gingrich J. A. Hallucinogens recruit specific cortical 5-HT2A receptor-mediated signaling pathways to affect behavior. Neuron 2007; 53: 439-452.
52. Moreno J. L., Holloway T. D., Albizu L., Sealfon S. C., Gonzalez-Maeso J. Metabotropic glutamate mGlu2 receptor is necessary for the pharmacological and behavioral effects induced by hallucinogenic 5-HT2Areceptor agonists. Neurosci. Lett. 2011; 493: 76-79.
53. Kourrich S., Su T.-P., Fujimoto M., Bonci A. The sigma-1 receptor: roles in neuronal plasticity and disease. Trends Neurosci. 2012; 35: 762-771.
54. Stahl S. M. Stahl's Essential Psychopharmacology: Neuroscientific Basis and Practical Applications. 3rd ed. Cambridge, NY: Cambridge University Press; 2008.
55. Zagoraiou L., Akay T., Martin J. F., Brownstone R. M., Jessell T. M., Miles G. B. A cluster of cholinergic premotor interneurons modulates mouse locomotor activity. Neuron 2009; 64: 645-662.
56. Hellstrom J., Oliveira A. L., Meister B., Cullheim S. Large cholinergic nerve terminals on subsets of motoneurons and their relation to muscarinic receptor type 2. J. Comp. Neurol. 2003; 460: 476-486.
57. Muennich E. A., Fyffe R. E. Focal aggregation of voltage-gated, Kv2.1 subunit-containing, potassium channels at synaptic sites in rat spinal motoneurones. J. Physiol. 2004; 554: 673-685.
58. Luty A. A., Kwok J. B., Dobson-Stone C., Loy C. T., Coupland K. G., Karlstrom H., Sobow T., Tchorzewska J., Maruszak A., Barcikowska M., Panegyres P. K., Zekanowski C., Brooks W. S., Williams K. L., Blair I. P., Mather K. A., Sachdev P. S., Halliday G. M., Schofield P. R. Sigma nonopioid intracellular receptor 1 mutations cause frontotemporal lobar degeneration-motor neuron disease. Ann. Neurol. 2010; 68: 639-649.

59. Mavlyutov T. A., Epstein M. L., Andersen K. A., Ziskind-Conhaim L., Ruoho A. E. The sigma-1 receptor is enriched in postsynaptic sites of C-terminals in mouse motoneurons. An anatomical and behavioral study. Neuroscience 2010; 167: 247-255.
60. Al-Saif A., Al-Mohanna F., Bohlega S. A mutation in sigma-1 receptor causes juvenile amyotrophic lateral sclerosis. Ann. Neurol. 2011; 70: 913-919.
61. Miles G. B., Hartley R., Todd A. J., Brownstone R. M. Spinal cholinergic interneurons regulate the excitability of motoneurons during locomotion. Proc. Natl. Acad. Sci. U .S .A. 2007; 104: 2448-2453.
62. Ciprian-Ollivier J. O., Vitale A. A., Pomilio A. B. Génesis Neuroquímica Molecular de las Alucinaciones en la Esquizofrenia. Implicancias Clínicas. Editorial Académica Española, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Alemania, Noviembre 2015. ISBN: 978-3-659-09956-4.
63. Ciprian-Ollivier J. O., Cetkovich-Bakmas M., Boullosa O. Abnormally methylated compounds in mental illness. En: Biological Psychiatry 1985. Ed. Shagass C. et al., New York: Elsevier Pub. Co.; 1986.
64. Ciprian-Ollivier J. O., Cetkovich-Bakmas M., Bullosa O., López Mato A. Psicosis esquizofrénicas. Teoría de la Trasmetilación Patológica. En: Ciprian Ollivier J. O. Psiquiatría Biológica. Fundamentos y Aplicación Clínica. Buenos Aires: Científica Interamericana. Capítulo 8; 1988, p. 75-87.
65. Hoffer A., Osmond H. A card sorting test helpful in making psychiatric diagnosis. J. Neuropsychiatr. 1961; 2: 306-330.
66. Ciprian-Ollivier J. O., Cascallar E., Biganzoli B., Pomilio A. B. Diagnóstico fehaciente de esquizofrenia: 37 años de experiencia en la utilización del HOD test. [Reliable diagnosis of schizophrenia: 37 years of experience in the use of the HOD test]. Acta Psiquiátr. Psicol. Am. Lat. 2014; 60: 147-159.
67. Hoffer A, Walker M. Putting it all together: the new Orthomolecular Nutrition. NY: McGraw-Hill Professional; 1998.
68. Pauling L. Orthomolecular Psychiatry. Science 1968; 160: 265-271.
69. Hawkins D., Pauling L. Orthomolecular Psychiatry. Treatment of Schizophrenia. San Francisco: Freeman W.H. & Co.; 1973.
70. Pauling L. How to live longer and feel better. W. H. San Francisco: Freeman W.H. & Co.; 1986.
71. Dardanelli A.L. Salud y Reequilibrio de los Minerales. Vitaminas, Enzimas, Suplementos, Dieta. Editorial IMO, Buenos Aires, Argentina; 2010.
72. Tian Y.-J., Li Da, Ma Q., Gu X.-Y., Guo M., Lun Y.-Z., Sun W.-P., Wang X.-Y., Cao Y., Zhou S.-S. Excess nicotinamide increases plasma serotonin and histamine levels. Acta Physiol. Sin. 2013; 65: 33-38.

LA VIDA DESPUES DE LA MUERTE EN LOS PUEBLOS ANDINOS DEL NOROESTE ARGENTINO

Por Antonio Las Heras

Director del Instituto de Estudios e Investigaciones Junguianas de la Sociedad Científica Argentina.
e mail: alasheras@hotmail.com

RESUMEN
Se indaga sobre las creencias de la vida después de la muerte en los pueblos originarios de la región andina del noroeste argentino y las influencias recibidas por la cultura inca así como posteriormente por la influencia española e influencias de la evangelización. Son descriptas las principales ceremonias vinculadas a la muerte que aún hoy se realizan.

ABSTRACT
It investigates the beliefs of life after death in the native peoples of the Andean region of northwestern Argentina and the influences received by the Inca culture as well as later by the Spanish influence and influences of evangelization. The principal ceremonies linked to death are described today.

PALABRAS CLAVE
Vida después de la muerte. Alma. Reencarnación. Sagrado. Sobrenatural. Religioso. Colla. Inca. Tahuantinsuyo.

KEYWORDS
Life after death. Soul. Reincarnation. Sacred. Supernatural. Religious. Colla. Inca. Tahuantinsuyo.

"Los vivos no mueren cuando mueren,
sino que viven otra vida a partir de la muerte."

La simpleza y contundencia de esta respuesta dada por un habitante de la Puna Jujeña, durante una entrevista realizada por nosotros, nace de una profunda convicción de vida fundada en la cosmovisión de los pueblos originarios, fuera de toda especulación filosófica y científica; por lo que nos abre el interés para explorar e indagar cómo concibieron la vida después de la muerte estas culturas.

El interrogarse sobre la finitud de la existencia es una cuestión de constante y universal atención e interés humano así como de las disciplinas que lo reconocen como objeto y sujeto de estudio.

La persona humana, en cualquier tiempo histórico, lugar y cultura, se ha pensado y reconocido como ser distinto por comparación y contraste con la idea de una divinidad, una fuerza y energía diferente, un motor primigenio. Frente a los atributos de poder, omnisciencia, inmortalidad, bondad, etc., que se le asignan a ésta, él se siente y piensa como un ser frágil, impotente, mortal, capaz de maldades y vilezas. Sin embargo, en ese sentimiento se desliza y está contenida la idea de infinitud, aunque sea parcial, conferida a una parte de su esencia. Así, en el tema que nos ocupa, se ha debatido en torno a que su "muerte no es la muerte definitiva y total de cualquier cosa real". (1)

En este trabajo nos proponemos una aproximación a la comprensión de la concepción de lo humano en el ámbito andino a través del estudio de registros bibliográficos y dc testimonios recogidos en la tradición oral, localizándolo en un sector específico de lo que fuera el antiguo Imperio Inca, la zona de puna y quebrada de la provincia de Jujuy, (N. O. de la República Argentina) haciendo referencia a la influencia de pueblos bolivianos y peruanos.

El Imperio Incaico llegó a abarcar unos seiscientos mil kilómetros cuadrados, constituyendo un "mosaico de culturas y civilizaciones". "Geopolíticamente el Imperio Incaico estuvo dividido en cuatro grandes zonas territoriales". "Era el Tahuantinsuyo", dividido de la siguiente manera: el Chinchasuyo al noroeste, formado por las provincias del norte y centro del Perú; el Contisuyo al suroeste; el Antisuyo al noreste, conformado por la provincia amazónica, y el Collasuyo al sureste, que comprendía la meseta boliviana y los sectores chileno (Puna de Atacama) y argentino", abarcando en éste último la puna y quebrada jujeñas y los valles calchaquíes. (2)

Los Incas eminentemente conquistadores, fueron invadiendo territorios, entre ellos al pueblo Kolla o Colla, y si bien los aborígenes de la qucbrada y puna mantuvieron las costumbres culturales de sus ancestros, recibieron una importante influencia de la civilización incaica. No obstante lo ante dicho, para adentrarnos en el tema que nos convoca, es inevitable la alusión a la "colisión de dos mundos"; esto es la influencia del mundo español en la conquista y colonización sobre el mundo andino, especialmente con la imposición de la religión católica. Lo que hoy subsiste en forma de cermonias, creencias, son "ritos religiosos, más purificados y evolucionados que los ancestrales" ... "El pueblo colla, al recibir la religión cristiana, no prescindió de su propia religiosidad ni de sus costumbres ancestrales; más bien la asumió, pasándola por el tamiz de su propia cultura" (3). Los principios y dogmas del catolicismo no llegan a imperar con carácter absoluto en un espacio cultural poblado desde su origen por mitos, creencias y rituales de magia. Aunque la labor evangelizadora aspira a que la doctrina se constituya en el único saber, fundado en la fe, condicionada por emotividad existencial, según lo señalan y destacan viejos y más recientes trabajos. (4).
Así llegamos a la confusa amalgama de cultos paganos y católicos, quc se expresa elocuentemente en las invocaciones de los fieles nativos. Por ejemplo, "Danos maíz para la harina y coca para el acuyico, Virgen que estás en los cielos. Pacha...! Pa' vos la primera chicha del vilque, la primera hoja de coca y el primer trago de alcohol" (5)

Creencias sobre la muerte, la vida en el Más Allá y la reencarnación en los pueblos originarios

Los momentos trascendentes que marcan un cambio de estado o condición cn el ciclo de la vida humana, (el nacimicnto, el tránsito de la infancia a la pubertad, el matrimonio, etc.) son aqucllos en los que los integrantes de estas culturas se vinculan particularmente con lo sagrado, sobrenatural y religioso, especialmente en la instancia de la mucrte. Hacen manifestación de cse vínculo a través de ceremonias y ritos, que demuestran la creencia en la intervcnción especial de la fuerza sobrcnatural con toda intensidad y potcncia en csos estadios críticos, como en el caso del culto a los mucrtos.

"Así como el status de un jovcn hasta no efectuarse el rito dc iniciación, es el de un niño, así los mucrtos no son considcrados talcs hasta tanto no se haya cumplido el ritual funerario corrcspondiente. Recordemos que cn las comunidades ctnográficas la muerte no cs un hecho sino un status; el muerto sigue "viviendo" otra vida, lo cual se comprueba por mcdio de rituales, dc ofrendas, de sacrificios". (5).

Los muertos continúan siendo presencia y cierta forma de realidad para el poblador nativo. Mientras

que existe la creencia de que aquél que es añorado por sus deudos y allegados puede regresar porque no se han podido cortar los vínculos familiares, surge por opuesto la figura del "muerto condenado", al que se le atribuye la condición de amenazante y peligroso.

La mención que antecede respecto a la realización del ritual, en tanto acto individual o colectivo que implica una repetición prácticamente instituida, busca el efecto de asegurar la acción de la fuerza sobrenatural, para no quebrar o impedir el "acceso" a la otra vida después de la muerte.

Para los pueblos puneños el alma es un ente independiente más errabundo aún; puede ocupar el ámbito antropomórfico, zoomórfico y también el continente de los objetos inanimados.

"Las culturas andinas precolombinas creían en la inmortalidad del alma como los egipcios, como creían en el origen terrestre del cuerpo y por ello le decían "ALPACAMASCA" (tierra animada), diferenciaban al hombre del animal llamado el primero IZUNA (cosa que entiende) y al segundo LLAMA (es decir bestia)". "A la vida inmortal le adjudicaban tres moradas para residir en plena felicidad: el cielo (Aanan Pacha) el Mundo (Humi Pacha) y el Abismo o lugar de sufrimiento (Ven Pacha)". "Más allá de la muerte, donde solo existía el alma tenía ésta cierta corporalidad y hasta era posible tocarla cuando invadía el continente de un árbol, un peñazco o una vicuña". (6)

"Los incas no entendían que la otra vida era espiritual, sino corporal como esta misma. Decían que el descanso del mundo alto era vivir una vida quieta, libre de los trabajos y pesadumbres que en ésta se pasan. Y por el contrario temían que la vida del mundo inferior que llamamos infierno, era llena de todas las enfermedades y dolores, pesadumbres y trabajos..." "Tuvieron asimismo la resurrección universal, no para gloria ni pena sino para la misma vida temporal, que no levantaron el entendimiento a más que esta vida presente". "Se suponía que todos lo que habían nacido volverían a vivir en el mundo y las ánimas se han de levantar de las sepulturas con todo lo que fue de sus cuerpos". Por ello, al estudiar la fenomenología de la religión, Van der Leeuw expresa que "el muerto no es un alma sin cuerpo sino otra corporalidad".

El que los muertos se hayan vuelto invisibles, impalpables e invulnerables, es origen de la gran preocupación porque ellos contaran con comodidades.

En la región peruana-boliviana los pueblos originarios tenían la visión de un despertar en el futuro, esto señala la creencia o reconocimiento de una vida después de la muerte con la convicción de que la persona regresará "algún día" a los actos propios de su vida común: comer, beber, trabajar, etc. Este retorno no comporta el pensamiento de una resurrección moral.

Repercusiones de la conquista y colonización española.

No hay que mal valorar el impacto desestabilizador de la cristianización. La evangelización fue un proceso largo y no siempre duradero, pues los resultados fueron diferentes. "Un ejemplo bastará para sugerir la desorientación que predominaba en esos años en el campo de los rituales y de las creencias. Los frailes y los conquistadores prohibieron los ritos públicos y los sacrificios humanos. Lograron desmantelar los ciclos paganos que con una regularidad perfecta rimaban el curso de los tiempos y la existencia de pueblos enteros. Solsticios y equinoccios, por ejemplo. Sin embargo, pasaron años antes de que estos "vacíos" fueran ocupados por nuevas liturgias y nuevos ciclos rituales: los de la Iglesia Católica Apostólica Romana. Durante este período los nativos vivieron un tiempo que habían parcialmente perdido su significación indígena sin haber cobrado, entretanto, un significado cristiano." "Apariciones e ilusiones del demonio" (en los términos de los frailes) se multiplicaron en esta época, repercutiendo en la desorientación de las poblaciones indígenas".

"Entre indios y europeos prevaleció una comunicación de tipo fragmentado e intermitente. Cada grupo ignoraba el universo de conocimientos y de efectos al que el otro hacía constantemente referencia. Los obstáculos lingüísticos, las diferencias de sistemas conceptuales – por ejemplo – las divergencias en las concepciones del espacio y del tiempo- la superioridad que ostentaban los vencedores complicaban y entorpecían los intercambios entre las dos partes." (7)

"Al imponer un nuevo orden espacial y visual los frailes intentaban apoderarse del imaginario de los indígenas. No bastaba imponer la fe y los dogmas, cabe transformar las mentes. Los manuales de

confesión que utilizaban los curas y los misioneros con los indígenas permiten seguir la manera como los confesores exploraban los sueños e indagaban las fantasías de sus fieles para mejor combatir la presencia del diablo o de deseos que la Iglesia condenaba. El teatro de evangelización enseñó a los indios espacios tan fantásticos –y tan reales para los cristianos – como el Paraíso, el Infierno o el Purgatorio". (8)

Ritos vinculados con el culto y el mundo y regreso de los muertos.

Es útil destacar algunos ritos que perduran en los pueblos aborígenes de la puna y la quebrada y en las comunidades de raigambre campesina de asentamiento urbano, los que conservan la esencia que les da sentido y que son prácticas transmitidas de generación en generación, en el ámbito familiar – comunitario, con el mismo fervor y devoción.

La visión de vida después de la muerte y de la inmortalidad se expresan a través de estos ritos populares y muestran claramente cómo se aúnan elementos provenientes de la cultura incásica con otros de génesis occidental y cristiana.Para poder entender aún más el sentir y pensar de estos pueblos, antes de la descripción de algunos ritos en los que aparecen rasgos del culto actual incorporados al culto primitivo, se hace referencia al escrito del sacerdote Olmedo: "A través de los años, el pueblo colla ha mantenido el culto a los muertos, heredado de sus ancestros". "El hecho de la muerte, el colla lo vive y lo interpreta de una forma sencilla y natural, casi fatalística". "Un pueblo cuya expectativa de vida .... es baja "...y teniendo un índice de mortalidad infantil muy alto, necesariamente tiene que acostumbrarse a convivir día a día con la muerte y tributar un culto especial a sus difuntos" (9)

Algunos de los ritos más representativos son:

"El velorio."

Que tiene lugar en la casa del muerto, en cuya entrada se coloca un moño negro. Los vecinos y familiares acompañan a los deudos de distintas maneras: haciendo coronas, cortando alambres para las flores, rezando o cocinando para compartir con los presentes. Otros lavan al difunto y lo visten con la mejor ropa, sacando los botones y todo otro objeto de metal. Sobre todo en la zona rural, se les coloca el mortajo y el cordón. El mortajo es una especie de túnica de picote o de tela industrial. El cordón se fabrica con hilo yoque. Este hilo se elabora con lana hilada al revés, es decir torciendo el hilo para el lado izquierdo, hasta lograr un cordón del grosor de un dedo en el que se hacen nudos. El significado del cordón es ahuyentar los males que impidan al alma llegar al cielo. Ambos, mortaja y cordón representan que el alma es un santo.
Los presentes tienen una actitud de recogimiento ante el difunto y le rezan y echan al fuego una rama de tola, recogida previamente para ofrecer al mismo, antes de saludar a los presentes.

"El entierro."

Algunos escritos señalan que el entierro "se hace antes de la salida del Sol". "Ponen el cadáver en angarillas y lo conducen al hombro hasta el cementerio". "Descansan en altares de piedras donde también descansará el alma cuando salga a recoger lo que ha desperdiciado o desdeñado en vida". "En el cementerio echan en la fosa comida, coca, alcohol y prendas útiles de uso íntimo" (10)
Otros documentos y testimonios más actuales relatan que antes del entierro se celebra una misa de cuerpo presente, para que reciba la última bendición para que le perdonen sus pecados y pueda entrar al cielo. Desde allí se dirigen al cementerio, rezando o cantando canciones fúnebres. Antes de inhumar los restos los acompañantes se despiden poniendo las manos sobre el cajón en forma de cruz.
Posterior al entierro la familia suele invitar a comer, en la casa del difunto, platos regionales, tales como picante de mote, yuspichi a base de trigo y charqui, carne hervida y otros.

"El lavatorio."

Algunos relatos expresan que el lavatorio se realiza al día siguiente del entierro. Otros que se lleva a cabo en el noveno día. Este consiste en lavar las ropas pertenecientes al muerto en el arroyo o río más cercano y se las entierra en un pozo cavado al efecto, donde también se arrojan hojas de coca, alcohol y cigarrillo, que harán mas placentero el viaje del difunto a "la otra vida". Participan parientes y allegados (los que posteriormente comparten comida, coca y bebida). Algunos testimonios de la tradición oral dan cuenta de que también se procede a limpiar los lugares por los que transitaba el fallecido y los utensilios u otros elementos que solía utilizar. Si esta tarea no se realizase se considera que "el alma andará penando y haciendo ruido".

A las cinco de la tarde se toma un animal de propiedad del extinto (perro, cordero o llama), previamente se le colocan alforjas sobre el lomo conteniendo comida, coca y alcohol y otras cosas de uso del difunto; se lo carga hasta otro pozo contiguo al del fallecido, se le hace coquear, comer y beber, se lo enflora, bendice y se le recomienda guiar y conducir al finado hasta el reino de las almas, para lo que se le coloca una larga cuerda atada a su cuello. Algunos acostumbran a sacrificarlo (ahorcarlo) y otros lo entierran vivo. Se señala el lugar con una cruz y un altar de piedra.

Puede entenderse que la principal significación del rito es facilitar el tránsito o el pasaje a la otra vida, pero también sugiere una preservación de los deudos y terceros, es decir el mundo de los vivos, en el sentido que no "llamen" a la muerte a otros o regrese a reclamar sus pertenencias.

El uso del elemento agua, revive la función purificadora que se le asigna desde la antigüedad.

"La novena."

Durante nueve días posteriores al fallecimiento se reza la novena en la habitación o en la casa del extinto. Se reza el rosario, se cantan canciones, se leen oraciones y textos bíblicos "para la salvación del alma y el perdón de sus pecados". Algunos colocan en la habitación un muñeco vestido con ropas del extinto.

Otros acostumbran, en esos nueve días, tender un "luto": ponen una mesa y la tapan con un mantel negro poniendo un rosario grande en la pared. También ponen un retrato del fallecido a quien bendicen y rezan. Después dan de coquear al alma quemando la coca en las velas y depositando los restos en una caja, que luego se entierra en el despacho.

A las personas que acuden a rezar, se les convida bebidas y comidas. El último día de la novena se levanta el luto de la mesa. Las personas se retiran bendiciendo la mesa con agua bendita al "despacho".

"El despacho."

Si bien guarda similitud con algunos procedimientos antes descriptos, en algunas regiones, se practica este rito de la siguiente manera.

Se hace un muñeco con la tela de las ropas de la persona fallecida. Este muñeco va montado sobre un caballito; si el extinto tenía un perro es sacrificado para este fin o en caso contrario es fabricado de madera. El muñeco representa al finado y el caballito a su compañero que lo ayuda a cruzar un gran río en su largo viaje al cielo.

"Se dice que yendo a caballo, el alma llegará más rápido a destino. El caballo va ensillado como si fuera de verdad, se le hacen alforjas, silla de montar y riendas en miniatura. Los cargamentos van atados con hilo yoque e incluyen comidas y bebidas (de todo lo que le gustaba al finado) que se ponen en ollitas de barro pequeñas". (11)

"El caballito con el muñeco, la ropa del finado y otras ofrendas, son transportados a las afueras del pueblo. Primero se procede a cavar un pozo en el que se quema la ropa. Habiendo finalizado, los acompañantes se despiden de las ofrendas que se ponen encima de las cenizas, se tapa con tierra y se coloca una cruz". (12)

Celebración del Día de las Almas.

Las almas saben como manifestarse en el mundo de los vivos y éstos también como reconocerlas. El poblador nativo considera que ésta es una percepción y un conocimiento para el que no se requiere de escuela, ni de aprendizaje formal. Por el contrario, están en el hombre y vienen con él naturalmente, como cada uno de los órganos del cuerpo. Lo más importante es prestarle atención a "los símbolos y señales del otro mundo" que permanentemente los envía. Si bien no existen testimonios referentes a la posibilidad de los adultos de ver a los muertos, saben que hay un alma presente, por ejemplo, por el llanto de los perros o el comportamiento de las mulas y ya reconocen que hay un ámbito en que la comunicación entre ambos planos de la realidad es posible, que es durante el sueño, y particularmente en el Ayamarkay-killa, que se reconoce como el Culto a los Difuntos. En el Imperio Inca el tributo a los difuntos comenzaba en los últimos días de octubre y se extendía hasta fines del mes de noviembre. Con la conquista y evangelización todas las ceremonias de aquél se concentraron y unificaron en la fecha del 2 de noviembre, Día de Las Almas, así como los ritos se ensamblaron en una auténtica expresión sincrética de la civilización inca y la imposición europea. Es decir, que el posible regreso de los muertos tiene concreción en el calendario.

Desde el día 31 de octubre por la noche se velan en un cuarto las ofrendas preparadas por los familiares y amigos del muerto.

Los preparativos consisten en limpiar y adornar el hogar, en seleccionar alimentos y elaborar comidas, tales como mote, charqui, picante y figuras amasadas con harina de maíz que representan los objetos que el difunto apreciaba en vida o se amasa pan en forma de angelitos o escaleras. Abundante bebida (chicha) y coca integran también las ofrendas.

Se coloca una especie de tumba donde mora el alma durante la celebración y una escalerilla que permitirá que descienda del cielo y por la que regresará después de ser honrado.

Este "velatorio" se lleva a cabo hasta el 2 de noviembre al medio día, tiempo suficiente para que las "almas" puedan "aspirar" el aroma de las ofrendas. Este día, los ofrendantes se dirigen al cementerio y en las tumbas entierran una parte de ellas. El resto se reparte entre los vivos que lo consumen.

El ritual regional se funda en la creencia que en esa fecha las almas de los muertos retornan a sus hogares en vida. Por ello, sus allegados les rinden un homenaje como prueba de que se las recuerda y ora por ellas.

"Velorio de angelitos."

Es una antigua creencia de origen español, que consiste en festejar la muerte de los niños de muy corta edad que aún no han pecado; por ello no se debe llorar a causa de que de acuerdo a la creencia –las lágrimas pueden mojar las alas del angelito e impedirle el vuelo que le permitirá llegar al cielo.

"La muerte de un niño en tanto en la región de la extensa Quebrada de Humahuaca así como en la mucho más árida región de la puna situada a varios miles de metros sobre el nivel del mar, es un acontecimiento normal. Cuando ocurre, la expresión usada por los mayores es fatalística. Dirán: A mi "guagua" se lo tragó la tierra. Los collas tienen muchos niños, y también son muchos lo que mueren antes de tiempo". "La cultura colla despide a sus "guaguas" con una fiesta alegre. Son los velorios de angelitos. El luto desaparece del hogar y el rito fúnebre se convierte en fiesta. Ropitas blancas y alitas angélicas para el niño; coronas y rosas blancas para su entierro. Una escalera para subir al cielo es colocada junto a la cajita blanca, donde reposa el cuerpecito del niño muerto. La noche del velorio es una noche alegre. No hay llanto y sí muchas canciones. Pequeños y mayores toman chicha y golosinas. Al amanecer, todos acompañan al "angelito", llevándolo casa por casa, para recibir su bendición. Ya entrada la mañana, llevan el cuerpecito al cementerio para descansar junto a la Pachamama. Su alma ha volado hasta Dios. Sus padres y hermanitos rezarán "laudates" en su honor. (13)

Y entre las creencias que sobreviven en el imaginario popular andino respecto a la vida después de la muerte se destaca la creencia en la existencia de "las malas almas", siendo éstas las que viven condena-

das. Vomitan fuego, salen a medianoche de sus cuevas con relinchos horribles y quedarán definitivamente en el infierno. Quien las encuentra no tiene buenas intenciones. También se testimonia que acostumbran merodear en las casas de los sacerdotes o curas.

Al transitar la lectura del material escrito, desde la afirmación inicial de un hombre puneño anónimo, no es posible dejar de pensar (o negar el impacto que produce) en la inmensa riqueza interior que poseen estos pueblos, los que con simpleza, humildad, devoción y dedicación, rinden culto, preparan, celebran familiar y comunitariamente a los seres queridos fallecidos. Las expresiones religiosas y culturales, amalgama de ritos, creencias y supersticiones, esa mezcla de dolor, homenaje, alegría con placeres como comer y beber, solo pueden entenderse y valorarse si se "entiende" en el contexto cultural folklórico condicionado geográficamente por grandes soledades y silencios, en donde vive el alma de un pueblo que nunca olvidó (o negó) su pasado ancestral, aún luego de haber sufrido una fuerte influencia (invasión y conquista) hispano/cristiana.

Referencias bibliográficas.

1.- Zucchi, Hernán. QUE ES LA ANTROPOLOGÍA FILOSOFICA. Editorial Columba. Bs.As., 1967. Pág. 11.
2.- Olmedo Rivero, Jesús. PUNA, ZAFRA Y SOCAVON. HOMENAJE AL PUEBLO COLLA. Editorial popular. Madrid, España 1990. Pág. 36.
3.- Olmedo. Op cit. Pág .188
4.- Santamaría Daniel. DEL TABACO AL INCIENSO. Ed. Universidad Nacional de Jujuy. San Salvador de Jujuy., 1994. Pág.154.
5- Santander, Josefa Luisa. FOLKLORE DE LA PROVINCIA DE JUJUY. Dirección Provincial de Cultura. Jujuy, 1970. En Pág. 34, Cita de Cortázar, 1959, Pág. 20
5.- Dragoski, Graciela y Páez, Jorge. FIESTAS Y CEREMONIAS TRADICIONALES. Centro Editor de América Latina. Bs.As., 1972. Pág. 26.
6.- Paleari, Antonio. DICCIONARIO MAGICO JUJEÑO. Bs. As., 1992.
7.- Olmedo. Op. Cit. Pág. 181
8.-Bernard, C. (Comp). DESCUBRIMIENTO, CONQUISTA Y COLONIZACION DE AMERICA A QUNIENTOS AÑOS. México, FCE, 1994 – Pág 158
9.- Bernard, C. Op. Cit. Pág. 165
10.- Iglesias, Ana María. Gordillo, Aníbal. TIERRA KOLLA. Edición Artesanal de Autores. Bs.As., 1999. Pág. 239.
11.- "AMARA". Testimonios de Historia y Tradición oral de la Quebrada de Humahuaca. Año 1 N° 1. Noviembre 2002. Escuela de Artes N° 2 "Hermógenes Cayo" – Humahuaca. Pag 9.
12.- "AMARA". Testimonios de Historia y Tradición oral de la Quebrada de Humahuaca. Año 1 N° 1. Noviembre 2002. Escuela de Artes N° 2 "Hermógenes Cayo" – Humahuaca. Pág 9.
13.- Olmedo. Op. Cit. Pág. 183.

Bibliografía de consulta.

1.- Wiener, Charles. PERU Y BOLIVIA. Instituto Francés de Estudios Andinos. Ed. Gráfica Pacific-Press. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 1993.
2.- Cipolletti, María Susana. NARRATIVA DE LA PROVINCIA DE JUJUY. Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires, 1976.
3.- Rivera, Luis Fernando. ANTROPOLOGIA FILOSOFICA, A LA BUSQUEDA DE UN MODELO. Bonum, Buenos Aires, 1989
4.- Levi-Strauss, Claude. ANTROPOLOGIA ESTRUCTURAL. Paidós, Barcelona. 1987

5.- Herrera Figueroa, Miguel. PRINCIPIOS DE POLITICA, LEUKA, Buenos Aires, 1988

Glosario.

- Acuyico: bolo de hojas de coca que se forma al mantener la misma en la boca.
- Angarillas: andas pequeñas para transportar materiales, etc.
- Charqui: carne deshidratada de cordero, llama o vaca, luego de un proceso de secado a la intemperie, expuesto a bajas temperaturas y clima seco de la zona.
- Chicha: bebida fermentada elaborada a base de maíz o maní.
- Mote: maíz blanco hervido, alimento común de la quebrada y puna.
- Pacha o Pachamama: madre tierra para los pueblos andinos, venerada y respetada a la que se le pide que brinde cosechas abundantes y alimento para los animales.
- Picante: comida regional elaborada a base de carne, papa, chuño (papa helada) cuyo ingrediente principal es el ají.
- Tola: arbusto de tronco verde y flores rojas usado en la puna como combustible.

EL LABERINTO CUÁNTICO

José María Lentino

Resumen

La mecánica cuántica ha mostrado desde su aparición un éxito notable en sus descripciones y predicciones. Las aplicaciones teóricas en las que ha participado han mostrado una justeza extraordinaria. Asimismo sus predicciones experimentales tienen un nivel de precisión increíble. Todo ello no ha impedido que su desarrollo haya sembrado un nivel de desconcierto también notable. Es así porque sus afirmaciones colisionan frontalmente con ideas seculares sobre qué es aquello que llamamos "realidad". El presente artículo no pretende disminuir el desconcierto pero apoya la idea de que las percepciones humanas de los fenómenos cuánticos provienen de objetos también reales pero con una realidad profundamente distinta a la admitida por el pensamiento clásico de los hombres. Advierte además que el formalismo matemático desplegado por la mecánica cuántica es absolutamente suficiente para desarrollar la investigación exhaustiva del mundo físico. No obstante no se omite el asombro y desconcierto que producen los hechos experimentales consecuencia de las leyes de la mecánica cuántica.

Abstract

Quantum mechanics has shown a remarkable success since its establishment in its descriptions and predictions. The theoretical applications in which it has participated have shown an extraordinary accuracy. Also the experimental predictions have an incredible precision level. All this not prevented that its development a level of uncertainty also remarkable. This is because his statements collide frontally with secular ideas about what is "true to reality." The present article does not attempt to diminish the uncertainty but supports the idea that the human perceptions of the quantum phenomena come from objects also real but with a reality profoundly different from that admitted by the classic thought of men. It further advices that the mathematical formalism deployed by quantum mechanics is absolutely sufficient to develop exhaustive investigation of the physical world. Nevertheless the astonishment and uncertainty produced by the experimental facts resulting from the laws of quantum mechanics are not to be omitted.

Palabras Claves

Mecánica cuántica, mecánica newtoniana, mecánica clásica, realidad, función de onda, ecuación de Schrödinger , experimento de Wheeler, experimento de Young, interferómetro de Mach–Zehnder, entrelazamiento, cuantón, fotón, onda, EPR, teoría GRW, Heisenberg, incerteza, complementario, Einstein, Bohr, Gedankenexperimen

Existe un primer gran desacuerdo entre la Mecánica de Newton (MN) y la Mecánica Cuántica (QM). La primera supone que la naturaleza es independiente del que la piensa, investiga o experimenta, en tanto que la segunda, en la mayoría de sus versiones, afirma (y verifica experimentalmente) que la realidad de un objeto (si tiene alguna) depende del acto de observación. Esto implica necesariamente que la realidad intrínseca[1] (y discutible según los físicos cuánticos) de algo que no es observado debe ser radicalmente distinta de la que se hace visible cuando es observado. Una vez establecida la QM, esto ha sido uno de los varios enigmas que desafían la noción de realidad históricamente admitida. Es decir, en tiempos de la MN se suponía que un objeto podía ser, en muchas ocasiones, observado, sin interactuar con él, o bien, si había interacción, ésta podía ser reducida indefinidamente, de manera que, en tal situación, el objeto persistía idéntico a sí mismo antes y después de ser observado. Pero la QM cambió todo esto. En interpretaciones algo radicales, algunos físicos afirman que lo que vemos se crea al momento de observarse. Tal vez esto sea cierto aunque pueda expresarse de una forma menos literal, y sobre todo que aun admitiendo que lo que se ve, de algún modo se crea en el momento que se observa, esto no implica necesariamente que se crea de la nada, aunque sea imposible ver aquello que había antes. Esto es precisamente el problema, porque de acuerdo con Dirac para la física "Sólo tienen significado real las preguntas sobre los resultados de experimentos y son éstas las únicas preguntas que debe contestar la física"[2]. Es decir no se siente obligada a responder sobre esas cuestiones y, por supuesto, tiene buenas razones para no hacerlo.

Antes de seguir, apresurémonos a decir de qué tipos de objetos hablamos. Salvo importantes excepciones, en las que el fenómeno cuántico es prevalente aunque no por su tamaño, hablamos en general de partículas. Microobjetos de tamaño atómico o subatómico enormemente más pequeños de los que interesan a la mecánica clásica, aunque, como dijimos, hay importantes excepciones. Estos objetos que aquí interesan reciben rápidamente y sin mayor reflexión el taxativo nombre de "partículas". ¿Por qué los llamamos partículas?... Bueno, sencillamente porque, en relación a su tamaño, miramos desde muy, muy lejos. Si nos acercáramos suficientemente a ellos veríamos[3] que no son las tradicionales partículas, es decir no son los objetos más o menos esféricos, aunque bien definidos, con masa, y tal vez carga, extremadamente pequeñas que surgen de nuestras fantasías newtonianas. Existe una definición alternativa de objeto cuántico más exacta que la referida a su tamaño. En efecto, podemos decir que un objeto es cuántico cuando implica en su descripción energías extremadamente bajas[4]. ¿Pero qué son?. Sin hacer una observación no hay formas de imaginarlos y al hacerla eligen su naturaleza al azar. No hay forma de describirlos. Pero creemos que allí están. Mario Bunge, careciendo de nombres representativos, los llama "cuantones". Naturalmente estos cuantones son la materia prima de la que se vale la QM para la descripción más elemental del universo, aunque en realidad sólo puede representarlo matemáticamente.

No obstante existen objetos cuánticos que no son microscópicos[5]. La línea de demarcación entre ambos mundos no es fácilmente discernible (tal vez haya que decir que, por ahora, no es discernible de ninguna forma[6]), aunque, conceptualmente, lo peor es que los objetos normales son una enorme acumulación de objetos cuánticos cuyo agregado se comporta, a partir de un cierto tamaño, como objetos clásicos. Sin embargo cabe la pregunta: ¿una proteína o una bacteria son objetos clásicos? La tecnología actual permite tratar cuánticamente a muchos de esos objetos.

Volviendo al problema, creemos, y este es nuestro punto de vista, que no debe pensarse que la QM niega o crea de la nada la realidad cuando se la observa. Todo lo contrario, la QM la hace evidente y la muestra en forma insospechada. Por supuesto porque la realidad es abrumadoramente complicada, pero aun así, a pesar de sus increíbles afirmaciones, la formulación matemática de la QM, y todas las teorías que derivan de ella, funcionan impecablemente bien y sobre todo tiene en cuenta los fenómenos, absolutamente inexplicables para la mecánica clásica. Esto es tan literal que muchos físicos (la mayoría) no creen necesario bucear en significados más cercanos a la filosofía que a la física[7]. Hasta ahora el mundo de la QM puede ser tratado en su totalidad con el formalismo matemático, tanto experimental como teóricamente. No obstante no deja de ser estimulante tratar de entender qué está sucediendo (si es que sucede algo que, por ahora, no comprendemos). Aun así nosotros también creemos que el avance de las ciencias físicas no depende, afortunadamente, de ningún tipo de interpretación filosófica aunque, y valga la paradoja, quizás interpretar filosóficamente la realidad cuántica, gatille nuevas intuiciones que deriven en nuevas hipótesis

que terminen en nuevas teorías científicas que amplíen la comprensión física de los fenómenos cuánticos.

En el ámbito de la QM deben explicitarse muchos aspectos que pueden parecer obvios pero que de ninguna manera lo son. Por ejemplo, como ya anticipamos más arriba, cuando se observa experimentalmente un objeto cuántico este asume generalmente al azar una realidad distinta de la que tenía... pero... ¡Por supuesto! No es ninguna novedad. ¡Si lo medimos seguramente lo estamos modificando!. Sobre todo si los objetos observados son de tamaño atómico. Esto es cierto, sin embargo no nos referimos a eso. Más bien hablamos de esa suerte de transmutación que ocurre al observar un objeto cuántico que, al azar, a veces se corporiza en partícula y en otras en onda. Opciones absolutamente antitéticas si las hay. El aspecto probabilístico es intrínseco a la QM por eso "el resultado de un experimento no está determinado por condiciones controlables por el experimentador"[8]. Como antes no ocurría con la MN, agregamos nosotros.

Desde ahora debemos aceptar, y en lo que sigue hablaremos de ello, que eso que observamos en los experimentos cuánticos existe de otra forma radicalmente distinta de cuando no lo observamos. Al punto que Heisenberg dice que antes de ser observado el objeto es pura potencialidad y que toma realidad física recién cuando se lo observa. No obstante, y aun proviniendo nada menos que de Heisenberg, este punto de vista es hoy minoritario entre los físicos actuales, y si bien la gran mayoría de ellos, por no decir todos, pueden hacer avanzar su ciencia sin reparar en lo filosóficamente incomprensible, no obstante algunos investigadores no dejan de hacerlo.

Los físicos newtonianos siempre han tenido buenas razones para ser realistas. ¿qué otra cosa se podía esperar que fuera, una piedra si no hubiera nadie que la estuviera mirando? La MN cree poder predecir el comportamiento de esa piedra en cualquier situación que podamos imaginar. Estemos observándola o no. Todo les hace pensar que la presencia de observadores humanos no tiene influencia en la realidad... Y están en lo cierto. Esta certeza, así como las leyes de la mecánica clásica son evidentes en contextos normales. El éxito y persistencia de la MN, desde el siglo XVII hasta los primeros meses del 1900, les hizo confiar, con todo derecho, de que esas leyes tal vez fueran válidas en el micromundo atómico. Pero no fue así. La MN sigue siendo válida en el mundo normal que rodea a los hombres pero ha dejado de serlo, absolutamente, en el micromundo y, en ocasiones, mucho más acá del micromundo. No obstante la QM y la teoría de la relatividad tienen a la MN como caso especial de aplicación.

La QM también es realista, aunque debiéramos decir que es realista superando el realismo ingenuo de la MN. El estado de un sistema clásico evoluciona de acuerdo a las leyes de la física clásica. Tal vez sea muy difícil predecir el futuro pero para los científicos clásicos sólo se trataba de un problema de cálculo[9]. Si éste fuera superado, conoceríamos al detalle el devenir de cualquier cosa... y por supuesto su pasado (un problema filosófico para la MN ya que cuestiona el libre albedrío[10]). Esto no ocurre con los sistemas cuánticos aunque fuéramos poseedores de una potencia de cálculo infinita. Si bien, se conoce al detalle la evolución del estado de un sistema, ese conocimiento solo brinda probabilidades estadísticas de que el sistema asuma determinados estados. En este aspecto la QM recupera el determinismo y, por supuesto, puesta a predecir, es inercíblemente más exacta que la MN. Hemos dicho, en el último párrafo "asuma determinados estados", este es un concepto que repetiremos varias veces en estas páginas. En efecto, antes de asumir un estado (al azar), cuando es medido u observado, el aparato matemático de la QM nos indica que el objeto cuántico tiene, simultáneamente, todos los que les permite el contexto físico en el que se encuentra. Desde luego, es muy difícil representar esta superposición de estados, sino imposible. Bohr no obstante argüía que no era responsabilidad de la física representar cosas que no observaba. La física predecía con exactitud qué estados se podían hacer visibles y con qué probabilidad y esto debería ser suficiente.

Albert Einstein, que abominaba de estas características de la QM, decía con cierta amargura: *"Pienso que una partícula tiene que tener una realidad separada independiente de las mediciones. Esto es, un electrón tiene órbita, posición y demás, aún cuando no esté siendo medido. Me gusta pensar que la luna está aún si no la estoy mirando"* Paradójicamente, tal vez Einstein fue el primero que tomó en serio a la QM y hasta ganó un premio nobel, con el efecto fotoeléctrico (1905), en esencia un fenómeno cuántico. Sin embargo era demasiado para él admitir los fenómenos no localizados que implicaban acciones "fantasmales" a distancia ("spooky action"). La famosa paradoja Einstein, Podolsky, Rosen (EPR) fue su más

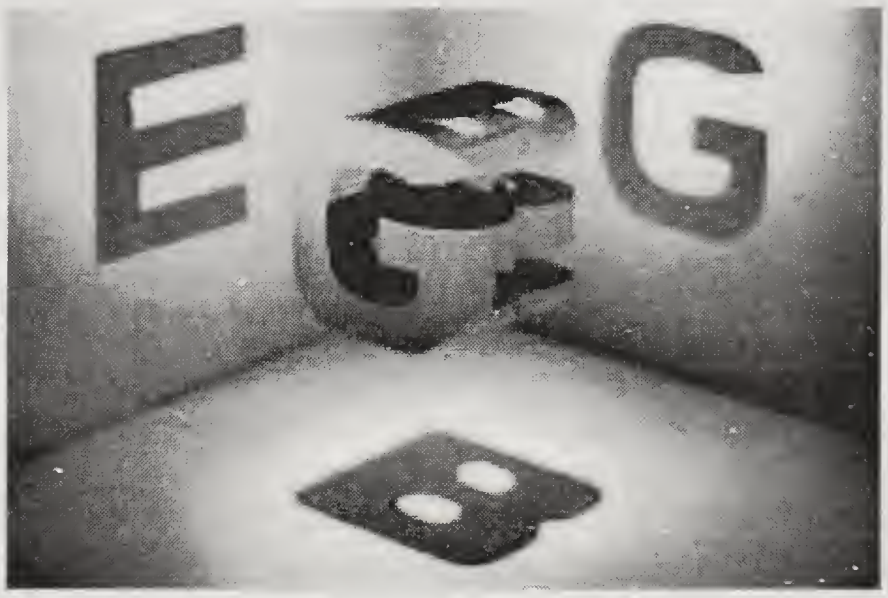
clara y contundente protesta. En efecto, es muy difícil admitir la interacción de dos objetos a distancias en las que es imposible cualquier vinculación conocida. Esto nos obliga a admitir que antes de la observación las partículas con estados entrelazados[11] son algo muy diferentes a dos objetos alejándose, cada una de ella con características definidas al partir. En sí mismo es un objeto nuevo y distinto y por tal motivo con su propia función de onda. Es poco menos que una alucinación aceptar que el estado entrelazado incluye la superposición simultanea de todos los estados posibles del sistema y que éste se dilucidará en uno de los extremos cuando se observe el estado arbitrario de una de ellas, que arrastrará al instante, y no importa cuán lejos esté, el de la otra (luego hablaremos con cierta extensión del experimento de Wheeler que implica una suerte de entrelazamiento temporal). Einstein, Podolsky, Rosen publicaron el 15 de mayo de 1935, en el volumen 47 de Physical Review el artículo "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" cuestionando la consistencia lógica de la QM. No obstante algunos años después, en 1964, John S. Bell[12] publica un trabajo en el que muestra un camino para verificar experimentalmente la completitud o no de la QM. Las llamadas "desigualdades de Bell" podrían dirimir quién tenía razón. El físico francés Alain Aspect ideó un experimento basándose en las desigualdades de Bell que llevó a cabo en 1982 y que confirmó, más allá de cualquier duda, la descripción brindada por la QM. La polémica fue zanjada a favor de la descripción ortodoxa de Bohr. Einstein no tenía razón y, junto con él, tampoco la tenían David Bohn y su Teoría de Variables Ocultas.

Los físicos clásicos y los filósofos realistas reducen el valor ontológico de algo si ese algo no tiene alguna manifestación taxativa que los identifique permanentemente, se los observe o no, y, por muchas razones, los objetos cuánticos no la tienen. Es obvia, entonces la reticencia a admitir como definitivos el aspecto algo esotérico de algunos postulados de la QM. Tal vez algo así sucedía con el gran Albert Einstein. Como hemos dicho, es muy probable que jamás podamos comprender a fondo a la QM. Cuentan que Richard Feynman mascullaba con amargura "Nadie entiende a la mecánica cuántica" y seguramente tenía razón: nadie tiene idea de qué puede ser un objeto cuántico cuando no es observado. Sin embargo para tranquilidad de todos, la formulación matemática es absolutamente suficiente para tratar en detalle todas las manifestaciones fenoménicas de la física actual. El gran avance de la tecnología durante el siglo XX y lo que va del XXI es debida precisamente a la comprensión sobre los hechos que da el aparato matemático de la QM.

En el otro bando, como ya hemos visto, Werner Heisenberg afirmaba sin eufemismos: *"los átomos o las partículas elementales no son reales; ellas forman un mundo de potencialidades o posibilidades, mejor que uno de cosas o hechos"*. Según el enfoque cuántico, las partículas subatómicas carecen de posiciones y trayectorias antes de ser medidas, sencillamente éstas no existen. Insistamos y digámoslo una vez más: no es que no se conozcan porque no se han medido sino que no existen, literalmente no existe posición ni trayectoria. Naturalmente porque antes de hacer un experimento no son partículas ni ondas: son cuantones, ie. ambas cosas a la vez. Los cuantones no tienen trayectoria ni posición discernibles antes de ser observados. Las cosas no están en el lugar que las vemos hasta que las vemos. O tal vez, sí están, pero con igual derecho, pueden estar simultáneamente en otras partes. Pero decir que pueden estar en muchos lugares a la vez es como decir que lo que observamos no existe como lo observamos antes de observarlo. Volviendo a Heinsenberg *"...un mundo de potencialidades o posibilidades, mejor que uno de cosas o hechos"*.

Sin más debiéramos admitir una realidad física diferente a la que creíamos y que hasta ahora aceptábamos que existía con o sin observadores. El objeto cuántico antes de ser observado es otra cosa. Seguramente es una realidad[13], pero no la que estamos acostumbrados a idealizar como partícula u onda. En realidad, un objeto cuántico no puede ser focalizado en ningún lugar, como objeto definido (partícula u onda), antes de ser observado. Una partícula libre, con un momento determinado, en el vacío cósmico, sin ninguna restricción que la limite, podría localizarse en cualquier lugar del universo. Entendamos esta idea: no es que existe una partícula en algún lugar del universo que no conocemos, en realidad en todo caso existe en todas las posiciones del universo con una cierta probabilidad de encontrarla allí. Sólo asume el carácter de partícula cuando la hace visible en un experimento, mientras tanto es algo con una realidad física que no podemos conceptualizar como partícula tal como veníamos haciéndolo hasta ahora. Tal vez sea, como dice Heisenberg, sólo una "potencialidad" pero aun así algo real. La probabilidad que brinda la ecuación de

Schrödinger no es la probabilidad de que la partícula se encuentre en un punto determinado sino la probabilidad de que nosotros la encontremos materializada en ese punto cuando hagamos la medición. Tal vez debamos pensar que la realidad de los objetos cuánticos, se transmuta en el momento de la observación para pasar a ser las viejas partículas u ondas que todos conocemos. Este proceso se denomina "decoherencia" o "colapso de la función de onda". Es decir, la función de onda, que es la suma de todos los estados posibles del objeto cuántico, asume al azar, cuando se realiza la medición, uno de esos estados presente en la superposición antes de ser observado. En ese momento el objeto aparece a los observadores con un estado definido. Claro está que, antes de ese acto, repitamos una vez más, el objeto que se va a medir existe con una realidad absolutamente distinta a la que surge luego de la observación. No podemos de ninguna manera afirmar que, antes de esa observación, el objeto sea onda o partícula, separada o simultáneamente a la vez. Se trataría de un oxímoron equivalente a decir que algo es un cuadrado circular o un triángulo hexagonal o un número primo par mayor que 2, etc. En resumen no podemos afirmar que el cuantón sea partícula u onda antes del experimento con que se lo observa. Una forma de ilustrar este problema, que de ninguna manera, repetimos, de ninguna manera puede asumirse como representación física de la superposición de estados presente en la función de onda $|\psi\rangle$, es la que sugiere el siguiente dibujo extraído del libro "Godel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid" de Douglas R. Hofstadter:



En el dibujo se observa un objeto cuyas proyecciones luminosas perpendiculares, a tres planos ortogonales que actúan como pantallas, arrojan las imágenes de las letras G, E, B
(iniciales de Godel, Escher, Bach precisamente). Al mirar sucesivamente cada proyección podríamos concluir que si observamos una G es porque el objeto que la proyecta es una G sólida en el espacio, de la misma manera cuando vemos la E y la B. Ahora bien, el enigma se presenta cuando nos dicen que el objeto central es el mismo en todos los casos y no es una representación sólida de una G, E o B que al iluminarse proyectan la G, E o B vistas respectivamente en las tres pantallas. Pues bien, si por alguna limitación no fuéramos capaces de imaginar la naturaleza única de ese objeto central supondríamos que su lugar se encuentran tres objetos distintos superpuestos, no sabemos como, y que arrojan en cada dirección una letra distinta como imagen. En consecuencia llegaríamos inmediatamente a la conclusión de que se trata de un absurdo ya que en un mismo lugar no podría existir un único perfil que arroje tres proyecciones distintas. Sin embargo, en este caso, afortunadamente, podemos aceptar que el objeto central puede ser simultáneamente un objeto que proyecta G, E, B. No existe enigma en esta ocasión ya que somos capaces de imaginar qué objeto ocupa el centro. En tanto, en situaciones similares de la QM, en las que se superponen objetos antitéticos, no es posible hacerlo. Seguramente existen limitaciones humanas que impiden distinguir su naturaleza exacta, enormemente más compleja, que permite la existencia simultanea de un fenómeno que se expresa como partícula u onda según el experimento (proyección) de que se trate. Sin embargo, esto no quiere decir que no exista y que nosotros no podamos describirla exhaustivamente a través del formalismo matemático. Claro está que una representación matemática no es una visualización física. Es muy fácil, por ejemplo, operar con objetos matemáticos n-dimensionales pero imposible visualizarlos. Sin duda el

recurso de las matemáticas es un poderoso sedante para entender la naturaleza esquiva de la QM. En la MN podía ser muy difícil resolver un problema de n cuerpos gravitando en el espacio pero seguramente era fácil imaginarlo. En la QM la solución de ciertos sistemas puede ser también muy difícil pero además, es imposible imaginarlos o verlos, como vemos los objetos clásicos evolucionando en el espacio y en el tiempo. Sin embargo y a pesar de todo, para uno u otros, sigue siendo válida la declaración escéptica de Richard Feynman: "...nadie entiende a la mecánica cuántica".

Una de las características más impactantes del monstruo cuántico es la superposición de estados. El objeto del dibujo del libro "Godel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid" de Douglas R. Hofstadter, puede ser visto, aunque lejanamente, como un intento de mostrar una superposición de estados. Veamos ahora algo más cercano aunque no menos misterioso. Imaginemos un objeto esférico cuántico, una suerte de esfera, que por razones desconocidas puede presentarse, cuando se hace un experimento, con dos diámetros distintos y , es decir, a veces mide y otras veces . Así mismo estos objetos, cualesquiera sean su diámetro, giran respecto de un mismo eje central a veces en un sentido y a veces en el otro. Este objeto, llamémosle cuantón, como corresponde, puede ser medido presentándose, él mismo en cualquiera de los siguientes estados:

Estado del objeto cuando es medido	Función de Onda
objeto con diámetro D_1 y giro derecho	$\lvert D_1\rangle\lvert\rightarrow\rangle$
objeto con diámetro D_1 y giro izquierdo	$\lvert D_1\rangle\lvert\leftarrow\rangle$
objeto con diámetro D_2 y giro derecho	$\lvert D_2\rangle\lvert\rightarrow\rangle$
objeto con diámetro D_2 y giro izquierdo	$\lvert D_2\rangle\lvert\leftarrow\rangle$

Cabe preguntarse ahora ¿en qué estado está este objeto, que estamos proponiendo, antes de producirse la medición?. Pues bien, si vemos las cosas como un físico clásico diremos que si el acto de medir no modificó apreciablemente el estado anterior y esto es siempre perfectible para los físicos de la MN, ese estado es el que persiste en la medición. Es decir si el objeto medido es por ejemplo un "objeto con diámetro D_1 y giro izquierdo" en el momento de ser observado seguramente lo era antes y si no lo era podíamos predecirlo utilizando las ecuaciones necesarias que nos brinda la mecánica clásica.

En tanto que para los mecánicos cuánticos debe resolverse la ecuación de Schrödinger En general en este caso será:

$$\lvert\psi\rangle \equiv \alpha\lvert D_1\rangle\lvert\rightarrow\rangle + \beta\lvert D_1\rangle\lvert\leftarrow\rangle + \gamma\lvert D_2\rangle\lvert\rightarrow\rangle + \delta\lvert D_2\rangle\lvert\leftarrow\rangle$$

En donde $\lvert\psi\rangle$ es la función de onda del objeto que estamos estudiando, suma de los estados en que se puede hallar el mismo, y $\lvert D_1\rangle\lvert\rightarrow\rangle$, $\lvert D_1\rangle\lvert\leftarrow\rangle$, $\lvert D_2\rangle\lvert\rightarrow\rangle$, $\lvert D_2\rangle\lvert\leftarrow\rangle$ son las funciones de onda de cada estado presente, es decir, todos son objetos matemáticos que describen toda la información posible sobre el sistema en cada caso particular (según la QM claro) y α, β, γ, δ son números complejos tales que al observar o medir el objeto será[14]

$|\alpha|^2 \equiv$ probabilidad de que objeto se encuentre con diámetro D_1 y giro derecho

$|\beta|^2 \equiv$ probabilidad de que objeto se encuentre con diámetro D_1 y giro izquierdo

$|\gamma|^2 \equiv$ probabilidad de que objeto se encuentre con diámetro D_2 y giro derecho

$|\delta|^2 \equiv$ probabilidad de que objeto se encuentre con diámetro D_2 y giro izquierdo

Entonces, según la QM toda manifestación y potencialidad del objeto queda expresado en la función de

onda $|\psi\rangle$, pero observemos ahora qué significado tiene esto. La función de onda $|\psi\rangle$ afirma que antes de ser observado el cuantón es la suma o superposición lineal de todos sus posibles estados de nuestro ejemplo:

$$|D_1\rangle|\leftarrow\rangle,\ |D_1\rangle|\rightarrow\rangle,\ |D_2\rangle|\leftarrow\rangle,\ |D_2\rangle|\rightarrow\rangle.$$

Ahora bien, cabe preguntarse ¿es esta superposición un mero formalismo matemático? En cierto sentido sí, porque $\alpha|D_1\rangle|\rightarrow\rangle+\beta|D_1\rangle|\leftarrow\rangle+\gamma|D_2\rangle|\rightarrow\rangle+\delta|D_2\rangle|\leftarrow\rangle$ es, en efecto, un formalismo matemático, pero entonces ¿qué aspecto reconocible tiene el objeto antes de ser observado?. Esto es, precisamente, lo que la QM, a diferencia de la MN, no puede representar. Sea lo que sea, tiene la capacidad de ser, cuando es observado alguno de los cuatro estados posibles $|D_1\rangle|\rightarrow\rangle,\ |D_1\rangle|\leftarrow\rangle,\ |D_2\rangle|\rightarrow\rangle,\ |D_2\rangle|\leftarrow\rangle$. Sin embargo, como hemos dicho antes, poco podemos decir acerca del aspecto que puede tener la superposición de todos ellos, aunque debe aceptarse que la realidad física[15] del objeto antes de observarse es, de algún modo, la superposición de cada uno de los estados posibles para ese objeto y que el aparato matemático lo describe a la perfección. En el paso de la MN a la QM hemos perdido absolutamente la capacidad para poder visualizar el estado de los sistemas antes de que ellos sean observados.

Afirmar que en el momento de la observación se crea el objeto (onda o partícula, si queremos medir estas característica del objeto cuántico) no implica en absoluto que debamos dejar de afirmar que antes de la medición no pueda existir de alguna forma desconocida para nosotros. Precisamente la mecánica cuántica se previene de la necesidad de decir que es esa cosa simplemente no diciendo nada de ella que esté más allá de la información contenida en la función de onda. No es un misterio que la ecuación de Schrödinger da cuenta del comportamiento de los sistemas cuánticos permitiéndonos calcular la función de onda $|\psi(\bar{x},t)\rangle$. Este objeto matemático brinda en todo instante t y en todo lugar $\bar{x}$, toda la información disponible sobre el estado del objeto cuántico. Digamos ahora que la función de onda $|\psi(\bar{x},t)\rangle$ no es el objeto cuántico, si bien su módulo ($|\psi(\bar{x},t)\rangle$ es un vector en un espacio abstracto con características de función compleja[16]) al cuadrado $|\langle\psi(\bar{x},t)\rangle|^2$) nos brinda la probabilidad, entre otras cosas, de encontrar el objeto en el punto $(\bar{x},t)$. Pero atención, no que el objeto esté individualmente en ese punto, el objeto puede estar en muchos puntos a la vez. $|\langle\psi(\bar{x},t)\rangle|^2$ es sólo la probabilidad que los observadores tienen de encontrarlo allí. La función de onda $|\psi\rangle$ es un objeto matemático que puede tener relación con la realidad pero no es la realidad física, salvo la información limitada que puede brindarnos de ella[17]. Limitada en relación a la naturaleza intrínseca que suponemos puede tener una realidad física descripta por la función de onda. Aunque completa respecto al conocimiento que la QM nos da. En varios momentos de este relato mencionamos a EPR. En un artículo de la revista Physical Review de 1935, Einstein, Podolsky y Rosen, creían demostrar que la QM era incompleta. A partir de él se postula la presencia de variables ocultas. David Bohm formula una teoría muy celebrada que debía sustituir las afirmaciones ortodoxas de la QM sobre la función de onda y superar las supuestas limitaciones al realismo promovidas por la QM. Fue reconocida como el mejor intento, sin embargo… no funcionó[18], no sólo en teoría sino experimentalmente puesta a prueba a través de las famosas desigualdades de Bell.

La mecánica cuántica nos obliga a admitir que los objetos cuánticos son mucho más complejos de lo que creíamos y tal vez esté más allá de nuestra comprensión entenderlos realmente. (J.B.S. Haldane) Para resumir: en un fenómeno físico, o en cualquier exteriorización de la realidad, existen características intrínsecas pertenecientes al sistema que son independientes del observador y tal vez definitivamente inobservables, en tanto, otras hacen al objeto una experiencia observable y teorizable. Estas son generadas en la interacción objeto cuántico – instrumento de medida - observador durante el acto de observación. Todas ellas están en el objeto cuántico pero en el momento de la observación participa de algún modo la consciencia

a través del instrumento que indudablemente se agrega al fenómeno de la medida.

En QM una observación es una experiencia que, en general, los observadores realizan con instrumentos. La MN suponía que, a partir de lo observado, podría describirse exhaustivamente la realidad profunda del objeto. Por ejemplo, conociendo la posición, velocidad y fuerzas presentes, un físico newtoniano podía describir el pasado, presente y futuro de esa cosa. Como ya hemos anticipado, según la MN algo parecido al libre albedrío solo es posible por las limitaciones de quienes tienen que realizar los cálculos. En teoría todo sistema físico es infinitamente predecible tanto en su pasado como en su futuro. Los hechos experimentales del mundo atómico y subatómico: radiación del cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, efecto Compton, etc., mostraron que ese punto de vista era terminante erróneo… Nacía la Mecánica Cuántica.

La mayoría de los fenómenos cuánticos, son atómicos o subatómicos. Debido a ello, la observación sólo es posible a través de instrumentos. La interacción física entre los tres escalones que conforman la medición de un objeto cuántico: objeto, instrumento y observador, producen el registro observado.
¿En cuál de las dos interacciones:

- objeto cuántico – instrumento de medida
- instrumento de medida – observador,

se produce la transición (decoherencia, colapso de función de onda) del universo cuántico al universo clásico representado por la exteriorización de la medida a la que accedemos con la observación? En primer lugar el instrumento de medida, visto en conjunto, es por lo general un objeto newtoniano, en el sentido de que sus dimensiones son coherentes con las dimensiones del observador humano. En realidad, el "extremo" del instrumento que toma contacto con el objeto cuántico debe ser necesariamente cuántico y, naturalmente, el que se pone en contacto con el observador humano debe ser newtoniano. Ahora bien, en el "extremo cuántico" del instrumento de medida se produce un entrelazamiento cuántico (entangled) y por lo tanto, no salimos de la QM. De hecho la interacción entre el instrumento de medida y el objeto cuántico solo puede describirse con la mecánica cuántica. En el extremo newtoniano del instrumento de medida se produce una interacción clásica de modo que, parecía sensato pensar que la transición (colapso de la función de onda) se realiza en algún lugar, llamémoslo "intermedio", entre ambos extremos. Puesto que el instrumento se adecua al experimentador, no sería arriesgado considerar al observador, y sobre todo a su conciencia, como integrante del instrumento. De este modo se suavizan las afirmaciones que hacen al observador como virtual "creador" del fenómeno observado. Este problema no está en absoluto aclarado y persisten opiniones enfrentadas sobre el mismo. En efecto G.C. Ghiradi, A. Rimini y T. Weber formularon en 1985 la teoría GRW que introduce algunas correcciones a la QM que básicamente independiza el colapso de la función de onda de la presencia de la consciencia de los observadores. Como consecuencia la unión de los aparatos de medida más los observadores son un caso particular de objetos macroscópicos de la teoría GRW. Por supuesto, según esta teoría, tampoco harían falta observadores para que los objetos macroscópicos colapsaran la función de onda. Lamentablemente la teoría GRW no se ha impuesto ya que tiene problemas cuando se intentan hacer generalizaciones relativistas. A todo esto aun no se ha dicho pero, la transición que sucede al colapso de la función de onda, brinda al experimentador las cantidades numéricas medibles de los observables del objeto cuántico.

El instrumento de medida adecuado, presente en el acto de observación, más el observador definen entonces que tipo de objeto que vamos a observar. Por ejemplo si queremos observar fotones en su carácter de partícula basta hacer un experimento que lo ponga en evidencia, el efecto Compton o el efecto fotoeléctrico son suficientes, o un experimento de Young tapando una rendija. En cambio si queremos observar el carácter ondulatorio de los fotones utilizaremos ambas rendijas o el fenómeno de difracción mediante una red cristalina, uno u otro los pondrán en evidencia. También en un interferómetro de Mach-Zehnder, los objetos cuánticos disparados por un laser serán alternativamente fotones u ondas luminosas según como se prepare el dispositivo.

Pero, ¿qué es realmente ese colapso? ¿Qué era del objeto cuántico antes del colapso? Pues bien la QM describe a ese objeto cuántico como una superposición de un conjunto de estados Este es un aspecto central y absolutamente novedoso de la QM: el objeto cuántico está descripto por una superposición real de estados distintos. El formalismo lo expresa pero debemos insistir que la realidad también es una suerte de

superposición. Por ejemplo si se trata de una partícula libre (sin restricciones de ninguna clase y con una velocidad bien definida) el objeto cuántico que lo representa será una superposición de estados consistentes en esa misma partícula (no otra, esa misma) ubicada alternativamente en cualquier lugar del espacio. De paso mencionamos ahora al principio de incerteza de Heisenberg que afirma que si uno sabe perfectamente donde está la partícula entonces no tiene idea de cómo se mueve (su velocidad) y que si sabe perfectamente cómo se mueve no tiene idea de dónde está. Precisamente el caso de este ejemplo.

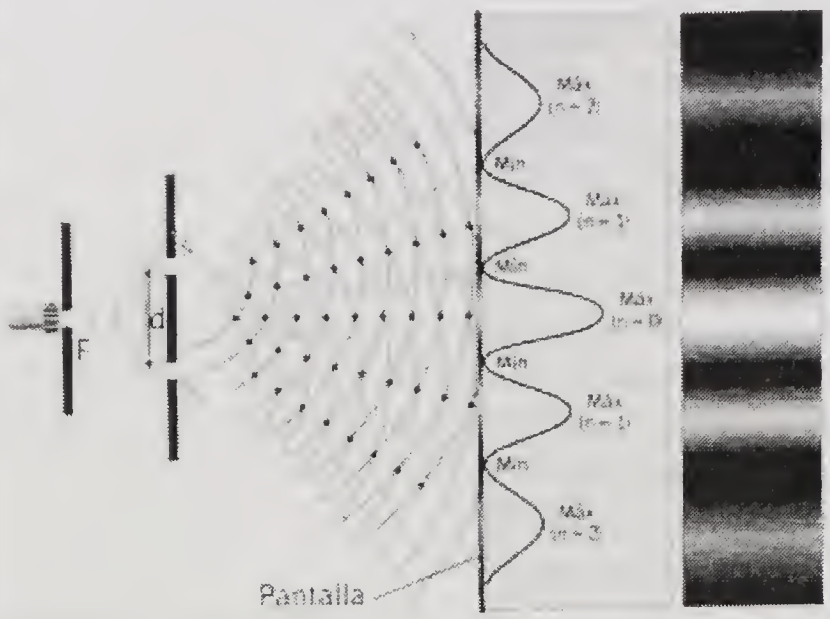
Supongamos ahora que mediante algún experimento preparado para detectar la posición de la partícula, obtenemos exactamente, sin errores de medición, en qué lugar se encuantra. Pues bien, hecho el experimento en el tiempo t, colapsa la función de onda (superposición de los estados de la partícula ubicada en cualquier lugar y con velocidad v) en el punto p. Hasta un instante anterior al momento t la partícula tenía una velocidad conocida v, pero en el instante t en que se la ubicó perdimos totalmente el conocimiento de su velocidad y en compensación pasamos a conocer exactamente su ubicación p. Y ¿Qué pasó con la función de onda?. A partir del instante t el objeto cuántico pasó a estar representado por otra función de onda, precisamente una que ubica a la partícula en p en el instante t. Otra cosa hubiera pasado si en vez de querer ubicar a la partícula nos hubiéramos conformados con conocer su velocidad. Un experimento preparado para conocer velocidades de partículas nos hubiera confirmado que la misma se movía a velocidad v, pero sin darnos ninguna información sobre su posición.

En experimentos para detectar posición o velocidades sólo podemos preguntarnos por la probabilidad de encontrar a la partícula en alguna posición con alguna velocidad (claro está, limitados por las relaciones de incerteza de Heisenberg, $\Delta x.\Delta p \geq \hbar$ que no deben ser entendidas como errores, ie. no se trata de que la partícula está efectivamente en una posición y tiene una velocidad determinada pero que yo desconozco, sino más bien que, en el momento de hacer el experimento, la partícula existe simultáneamente en un intervalo espacial y tiene simultáneamente un intervalo de velocidades).

En un párrafo anterior nos hemos dedicado a buscar un objeto cuántico. Esta búsqueda así anunciada no implica que el mismo se encontraba al instante t en alguna parte $\bar{x}$ del universo con una probabilidad $\left|\langle\Psi(\bar{x},t)\rangle\right|^2$ independiente de los observadores. O dicho de otra forma, podríamos suponer que el objeto que vamos a detectar con el experimento existe en alguna parte (y no en otra!!!) y somos nosotros con el experimento quienes lo vamos a descubrir. Nada de eso. La realidad física es que el objeto está simultáneamente, al tiempo t, cualquier $\bar{x}$, siendo $P(\bar{x},t)=\left|\langle\Psi(\bar{x},t)\rangle\right|^2$ la probabilidad que tienen los observadores de encontrarlo en ese $\bar{x}$,t

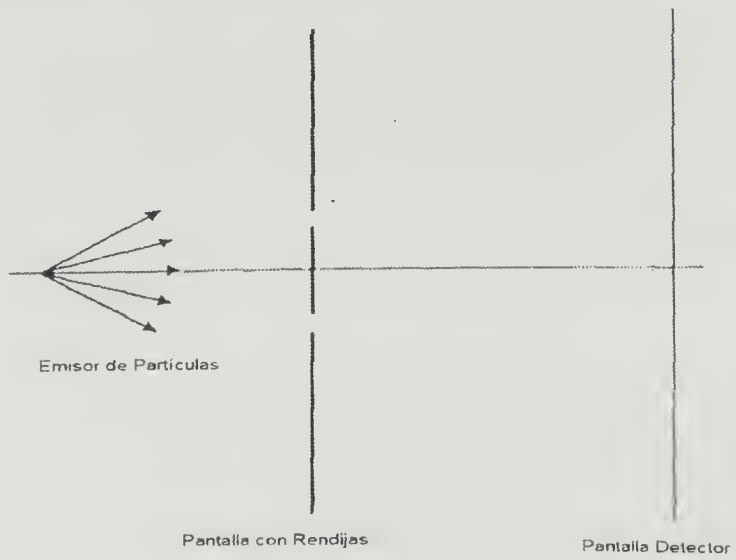
Experimento de Young

Un experimento centenario que es un clásico indiscutible de la QM son las Rendijas de Young. Propuesto en su versión clásica por el inglés Thomas Young (1773-1829), un joven y talentoso físico en el momento de diseñar su experimento. En sus primeras versiones servía para mostrar el carácter ondulatorio de la luz pero, la irrupción de la QM y la hipótesis, debida al Príncipe Louis de Broglie, de que todas las partículas, sean fotones, electrones, neutrones, protones, etc. tienen, como los fotones, comportamiento dual convirtió a este sencillo experimento en una vidriera inaudita de los laberintos cuánticos. En efecto, en la época clásica de la MN este experimento mostraba



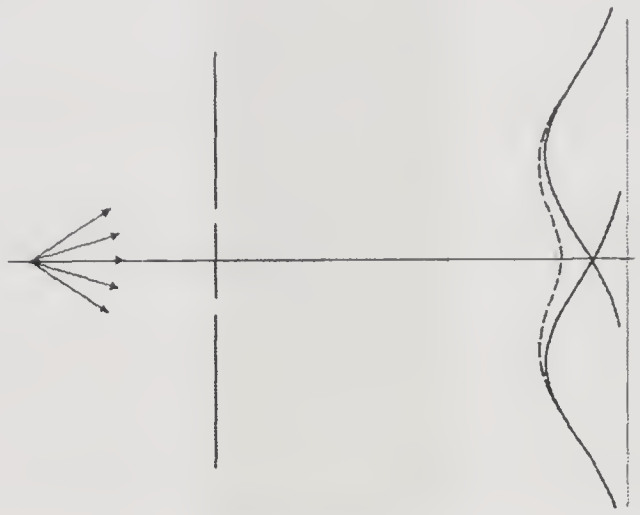
que una fuente luminosa monocromática da lugar a una figura de interferencia sobre la pantalla, esto es evidencia indudable de que el fenómeno luminoso era ondulatorio, en pocas palabras lo que salía de F eran ondas, no partículas. No cabía duda. Por supuesto si se obturaba una rendija simplemente aparecía sobre la pantalla una mancha luminosa sin franjas de interferencia (salvo que la rendija fuera muy estrecha en cuyo caso se producía difracción, otro fenómeno que de nuevo garantizaba el carácter ondulatorio de la luz). Sin embargo como es bien sabido, después de las investigaciones de Max Planck, publicadas en 1900, pasando por el efecto fotoeléctrico de Einstein (1905), la dispersión Compton y en un sinnúmero de otros descubrimientos, en todo ellos la luz presenta comportamiento corpuscular. En determinadas situaciones son partículas puntuales. Estas partículas llamadas fotones se evidenciaban en numerosos experimentos incontrovertibles. No había la más mínima duda y si la había quedó rápidamente despejada. En el mundo de la física se produce una gran sorpresa, un fenómeno tiene una doble naturaleza que para agravar las cosas es absolutamente contradictoria entre sí. En otra parte de este texto hablamos de círculos cuadrados, cubos esféricos, la naturaleza de la luz era algo parecido. En realidad con un poco de matemática bien dosificada podemos inventar partículas formadas por paquetes de onda pero resulta más difícil formar ondas utilizando partículas. En última instancia éstos podrían ser meros recursos matemáticos, pero en la realidad existen diferenciados e irreconciliables ambos mundos y así lo evidenciaban los experimentos. En fin, pero aquí no se detuvo la avalancha de novedades, como dijimos Louis de Broglie postuló el mismo carácter dual para toda la materia. En poco tiempo, esta increíble afirmación tuvo confirmación experimental y siguió teniéndola en infinidad de otros experimentos. La física entró y en cierto sentido sigue estando, en un universo huidizo de objetos incomprensibles (filosóficamente aunque no matemáticamente), que han dado lugar a especulaciones de todo tipo, científicas y de las otras.

Pensemos ahora en partículas materiales, no sólo fotones, que es un caso especial de partícula, sino en lo que nuestra tradición clásica considera como la materia por excelencia, los electrones, protones, neutrones, etc., etc. El dispositivo es esquemáticamente:



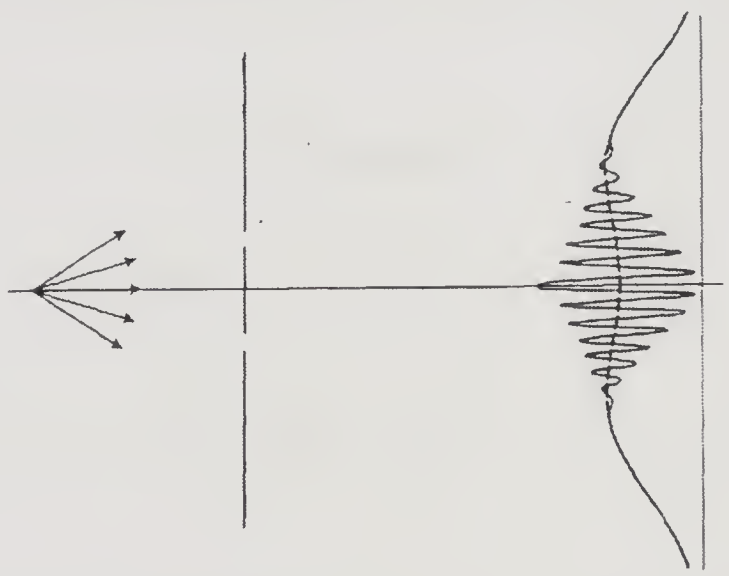
Son muchos los experimentos que se pueden hacer, por ejemplo:

- Enviar partículas materiales a la doble rendija.
  - En este caso uno esperaría, si no tuviera noticia de la QM y sabiendo que lo emitido por la fuente son partículas materiales, que sobre la pantalla se acumulan como muestra la figura:



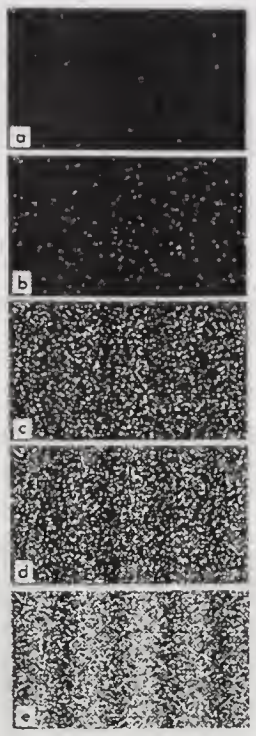
Es decir, aquellas partículas que pasan por la rendija superior se acumulan en un perfil senoidal por encima del eje, y las que pasan por la rendija inferior lo hacen, desde luego con el mismo perfil, por debajo del eje horizontal. Los perfiles que se muestran en ambos casos pueden deberse a los choques de las partículas con los bordes de las rendijas. La suma de ambas curvas, debida a la acumulación de impactos debida a ambas rendijas, se exhibe en la línea de puntos.

- Sin embargo en todos los casos se produce una inesperada figura de interferencia:



Un resultado que sólo esperaríamos para emisiones luminosas pero nunca para partículas materiales.

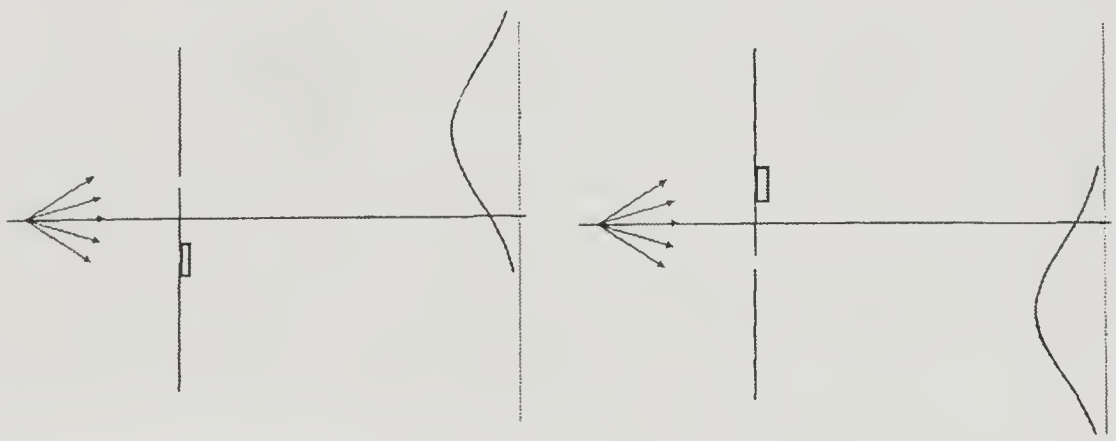
- Así las cosas, el resultado anterior bien pudo deberse a interacciones desconocidas entre las partículas entre sí y las rendijas, aunque es bien difícil imaginar cuáles. Por eso se hicieron experimentos enviando las partículas de a una. Ahora no es posible hablar de interacciones entre las partículas que llegan al blanco ya que podríamos distanciar las partículas en el tiempo lo suficiente (por ejemplo una por día) como para disminuir y anular cualquier interacción razonable entre ellas. Sin embargo, los impactos de las partículas individuales sobre la pantalla, para distintos grados de acumulación de las mismos resultan:



En los detalles desde a) hasta e) se perciben los impactos de la partículas, sobre la que al final e) vemos surgir claramente las franjas de interferencia. La última imagen es idéntica a la obtendríamos enviando un chorro de partículas, tal como hemos hecho antes o cuando suponíamos que la luz eran ondas.

• Sin embargo, puesto que las partículas al pasar por alguna de las rendijas, no sabemos cuál, podrían interaccionan de alguna forma que al incidir sobre la pantalla dar como resultado una figura de interferencia. Esa interacción tal vez quedaría expuesta al tapar la otra rendija. Sin embargo en este caso, también enviando partículas de a una, se observa una acumulación de impactos en la que de ningún modo se ven figuras de interferencia.

• Como era de esperar, probando con la otra rendija se obtiene el mismo resultado:



• En los experimentos con las dos rendijas abiertas, lanzando partículas en chorro o de a una, se observa que cada partícula, luego de pasar por alguna de las rendijas, sabe situarse en el lugar que le corresponde para luego de una multitud de impactos el resultado sea una figura de interferencia. Cada partícula actúa coordinadamente con las otras sin que medie ningún mecanismo de interacción entre ellas. Por otra parte, la modificación de la distancia entre rendijas da como resultado una modificación de la figura de interferencia

• La explicación más evidente y sencilla del fenómeno, pero a su vez la más disparatada, desde una visión clásica, es que la partícula, comportándose como una onda (no como una partícula, porque si fuera tal cosa no podría pasar por las dos rendijas a la vez) trasponga ambas rendijas e interfiera con si misma (al

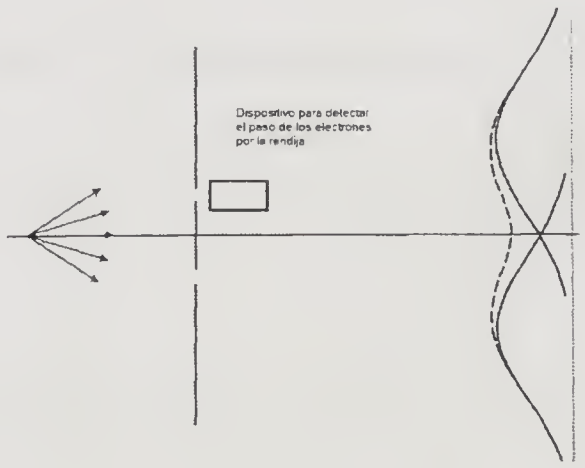
estilo de todas las ondas) en la pantalla. Este experimento nos hace sospechar que una partícula cuántica tiene un comportamiento dual, ya que si bien traspone las rendijas como onda impacta la pantalla como partícula (el impacto como partícula se ve claramente cuando llegan de a una). Pero si todavía dudáramos, tapando una rendija y enviándolas en chorro o de a una, veremos que trasponen la rendija abierta dejando la típica acumulación senoidal vista más arriba sobre la pantalla, típica de las partículas.

• Finalmente la formulación cuántica del fenómeno supone que las partículas son objetos que trasponen la pantalla por ambas rendijas a la vez. Es decir el estado de ellas, una vez traspuesta la pantalla con rendijas, podría escribirse:

$$\alpha\left|\text{Pasar por rendija superior}\right\rangle + \beta\left|\text{Pasar por rendija inferior}\right\rangle$$

En donde α y β están vinculados a la probabilidad de hacerlo por una u otra rendija. Pero en definitiva ¿qué es lo que trasponc las rendijas inferior y/o superior? ¿Una partícula , una onda? ... Ninguna de ambas. Es un objeto cuántico, un cuantón, que se comporta según el caso como partícula o como onda, aunque siempre y cuando lo observemos experimentalmente, mientras eso ocurra su naturaleza no nos es, por ahora, comprensible.

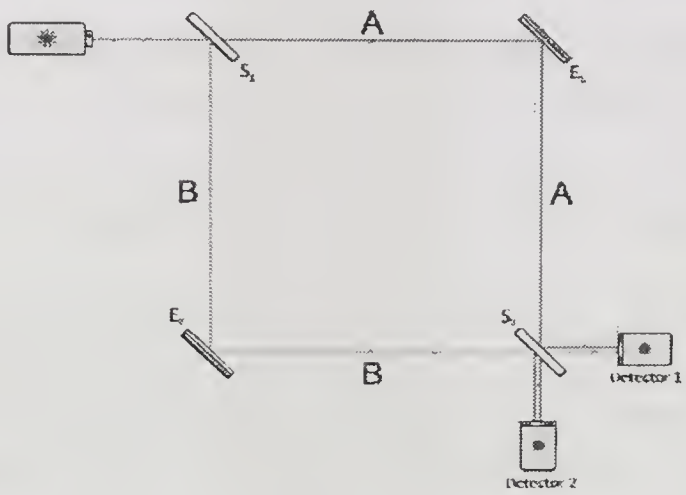
• Pero supongamos que estemos enviando, como siempre de a una a la vez, partículas cargadas como electrones, sería muy sencillo colocar un anillo metálico con un aparato detector en una de las rendijas para revelar el paso del electrón por allí, midiendo el pulso eléctrico que se formaría al transponer el anillo. Habiendo colocado este dispositivo enviamos nuevamente electrones, cuidando de algún modo que el mismo no modifique apreciablemente su energía. Repitámoslo otra vez uno a uno, para verificar en cada caso la ranura por la que pasó y el lugar en que impactó en la pantalla. La sorpresa es mayúscula al verificar que en este caso no se forma la figura de interferencia sino la conocida figura clásica, precuántica de acumulación:



que esperaríamos al enviar partículas por dos rendijas. De modo que si intentamos saber por donde pasó la partícula, se disipan las franjas de interferencia. Desde ya vayamos admitiendo que la QM no nos permite presenciar simultáneamente la naturaleza dual de la materia. Esto que decimos es una de las leyes fundamentales de la naturaleza. Digámoslo de una vez, el principio de Heisenberg está detrás de todo esto. Su formulación dice más o menos que no podemos conocer con exactitud y simultáneamente el lugar y la velocidad de una partícula cuántica. Se podría mostrar cómo el principio de Heisenberg explica el extraño comportamiento de las partículas que pasan por las rendijas de Young. Nada dice si no estamos mirando, en ese caso su naturaleza es seguramente mucho más compleja que la mera superposición de ondas y partículas en el mismo objeto, que desde ya, es en principio absurda.

Interferómetro de Mach-Zehnder[19]

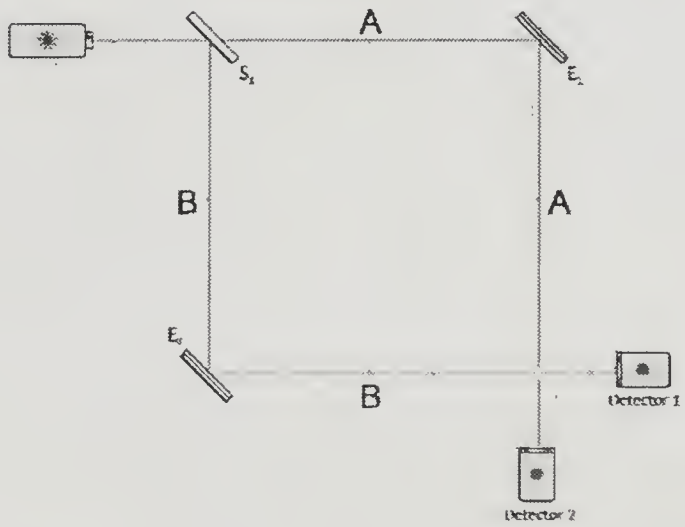
Este dispositivo nos depara sorpresas increíbles, como es habitual en los experimentos cuánticos.



Veamos el dispositivo. Contiene dos espejos E_1 y E_2 y dos divisores de haz S_1 y S_2 (como los usados en el experimento de Wheeler) que envía los fotones que recibe, el 50% de los casos transmitiéndolo por un camino y el otro 50% reflejándolo por otro. En ambos casos al azar. Asimismo una fuente laser de fotones[20] lanzan esos objetos cuánticos, al divisor S_1 de a uno, y con la frecuencia que al observador se le antoje. Finalmente a la salida del dispositivo se encuentran dos detectores 1 y 2. Los caminos A y B, entre S_1 y cada uno de los detectores, son de igual longitud. A partir de este arreglo instrumental podemos realizar varios experimentos:

Experimento N° 1.

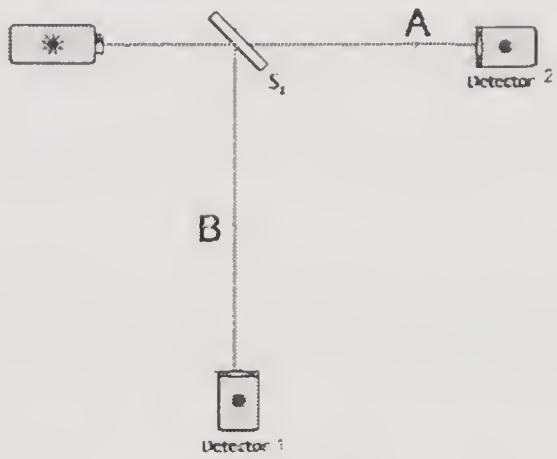
Sacamos el divisor de haz S_2 y enviamos cuantones[21] de a uno al divisor de haz S_1 , entrada de dispositivo.



Observemos que el divisor S_1 deja pasar al azar un cuantón por A o refleja otro por B. En otras ocasiones, cuando se presenta una bifurcación de estas y no hay modo de saber por qué camino irá el cuantón. Si se cumple esta precisa condición, el cuantón irá simultáneamente por los dos caminos a la vez. Pero con el dispositivo experimental que hemos preparado, sacándole el divisor S_2 y dejando los dos detectores, podemos saber si el cuantón circuló por A o B. En estas condiciones, si el observador sabe por qué camino circula el cuantón, solo una partícula podrá ser coherente con ese nivel de conocimiento. Por lo tanto el objeto cuántico que llega a los detectores es una partícula, en este caso un fotón. Cada detector registrará, aproximadamente, la mitad de los fotones emitidos por la fuente emisora.

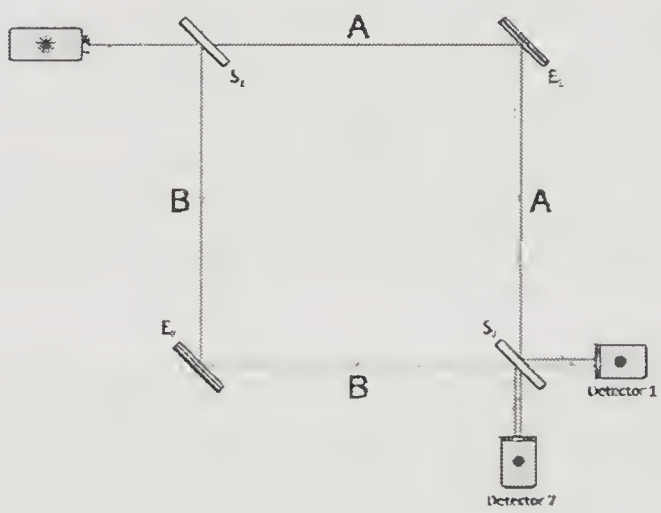
Experimento N°1*

Este experimento es una variación del Experimento N°1 salvo que, como antes, hemos eliminado al divisor S_2 y los dos espejos que no interesan en este dispositivo de la misma forma que tampoco interesaban en el anterior. Los detectores fueron colocados directamente en el camino A y B y estos tienen longitudes distintas.



Se repite exactamente lo dicho para el caso anterior, ie. cada detector recibirá el 50% de las partículas emitidas por la fuente. Tal vez podríamos agregar que ni siquiera es necesario agregar dos detectores, con uno solo basta ya que podremos detectar o no el registro del fotón en uno de ellos y saber, en el segundo caso, que el fotón circuló por el otro camino que no tiene detector

Experimento N° 2.



Colocamos ahora al divisor de haz S_2 y enviamos nuevamente cuantones de a uno al divisor de haz S_1. Salvo una única diferencia que ha sido incluir al divisor de haz S_2 estaríamos en condiciones de repetir la descripción hecha con el Experimento N°1. El divisor de haz S_2 no puede crear cuantones, simplemente, y a lo sumo, su presencia logra que un cuantón que iba a ir al detector 1 vaya al 2 y viceversa. Por lo tanto luego de un número suficientemente elevado de cuantones emitidos por la fuente, el detector 1 registrará prácticamente la misma cantidad de casos que el detector 2.

Esto es lo que suponemos que está ocurriendo. Nuestra intuición newtoniana nos dicta esa interpretación, Sin embargo al realizar el experimento observamos que **todos los cuantones enviados** impactan al detector 1 y... ¡¡¡Ninguno el detector 2!!!.

Esto parece una locura pero en QM no lo es tanto,

La presencia o no del divisor de haz S_2 implica una diferencia esencial. Sin el divisor S_2 podemos averiguar qué camino ha seguido el cuantón. Con el divisor no[22]. En efecto, su presencia logra que no se sepa el camino por el cual ha circulado el cuantón ya que a S_2 pueden llegar aquellos que han recorrido el camino A u otros que lo han hecho por el B. El impacto en los detectores no nos puede aclarar de donde proviene . En este caso la QM elige todos los caminos posibles. Por lo tanto en nuestro ejemplo la función de onda del cuantón (que ya no la podemos llamar meramente fotón) tiene dos estados posibles antes de llegar a S_2.

esto quiere decir que el cuantón circula por ambos caminos a la vez.

$$|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle \quad \text{donde} \quad |\alpha|^2 = \frac{1}{2} \quad \text{y} \quad |\beta|^2 = \frac{1}{2}$$

Veamos ahora qué nos dicen las expresiones anteriores. En primer lugar a cada detector llegan cuantones que son superposiciones de cada uno de los estados luego de pasar por S_2. En efecto en cada detector se tiene la suma de dos estados de un mismo cuantón. Cada uno de estos estados muestra que el cuantón inicial

$|\text{Cuantón}\rangle$ sufrió transmisiones y reflexiones en los sucesivos divisores y espejos antes de llegar al detector correspondiente. Digamos ahora que en cada reflexión, en el camino de los cuantones, se produce un desfasaje de ¼ de la longitud de onda de la función de onda. Por lo tanto el cuantón que va por B y que debiera terminar en el detector 2 se refleja en S_1, E_2 y S_2. Es decir estas tres reflexiones producen un desfasaje de ¾ de longitud de onda. Por otra parte, el cuantón que va por A y que debiera terminar en el detector 2 se refleja sólo en E_1 y por lo tanto tiene un desfasaje de ¼ de la longitud de onda de la función de onda. En resumen, en 2 los cuantones que convergen están desfasados uno de otro ¾ - ¼ = ½ de longitud de onda. Este tipo de desfasaje es destructivo, en consecuencia la función de onda cancela cuando el cuantón sale del divisor y se dispone a impactar al detector 2, por lo tanto la probabilidad de encontrar allí al cuantón es 0. No hay detecciones posibles en el detector 2.
Al contrario, los cuantones que concurren al detector 1 y que también atraviesan el S_2 no están en oposición de fase, a la inversa interfieren en fase, ambos tienen un atraso de ½ longitud de onda debido a las 2 reflexiones

(ver $|\text{Cuantón en Detector 2}\rangle$) en consecuencia se refuerzan, la probabilidad es del 100% y producen un impacto en el detector 1. Todos los cuantones emitidos por la fuente son registrados por el detector 2[23].
Observemos como hecho extraordinario que la mera inclusión del divisor S_2 provoca que el cuantón una vez transpuesto el divisor S_1 se divida en otros dos entrelazados que recorren simultáneamente los caminos A y B en tanto que si no se lo coloca tendremos un fotón que circula por A o B, no en ambos simultáneamente. Y esto ocurre por la única razón que en el primer caso podíamos saber qué caminos seguían, en tanto que en el segundo no.

Aun más increíble resulta pensar que mientras los cuantones circulan de S_1 a S_2 tardan cierta cantidad de tiempo. Haciendo los caminos A y B suficientemente largos como para dar tiempo a un mecanismo que retire el divisor S_2. A partir de ese instante, según hemos visto en el Experimento N°1 los cuantones se convierten instantáneamente en un fotón circulando por A o B, mientras que uno de los cuantones desaparece. A la inversa si el experimento arrancó sin divisor S_2, sabemos según el Experimento N°1 que por los caminos A o B debe circular un fotón. Repitámoslo otra vez, por A o B, no por los dos. Pero si aprovechamos el tiempo que tenemos antes de que el fotón llegue al detector y colocamos al divisor S_2, ocurre algo milagroso: desaparece el fotón y aparecen los dos cuantones circulando simultáneamente por A y B y como sabemos no habrá detecciones en el detector 2 y todos se registrarán en el detector 1. Un verdadero disparate, pero es así no solo en teoría sino también experimentalmente a partir de 2006.
¿Por qué decimos: un disparate? Porque sólo con poner o sacar al divisor S_2 cambiamos radicalmente lo sucedido un rato antes.
Estos experimentos de "elección retardada" fueron concebidos por John Wheeler en 1978 pero solo llevados a cabo en 1985, en una versión aproximada, y en 2006 siguiendo exactamente las condiciones requeridas por la idea de Wheeler. Y, como ya es una regla sin excepciones, la QM tenía razón.

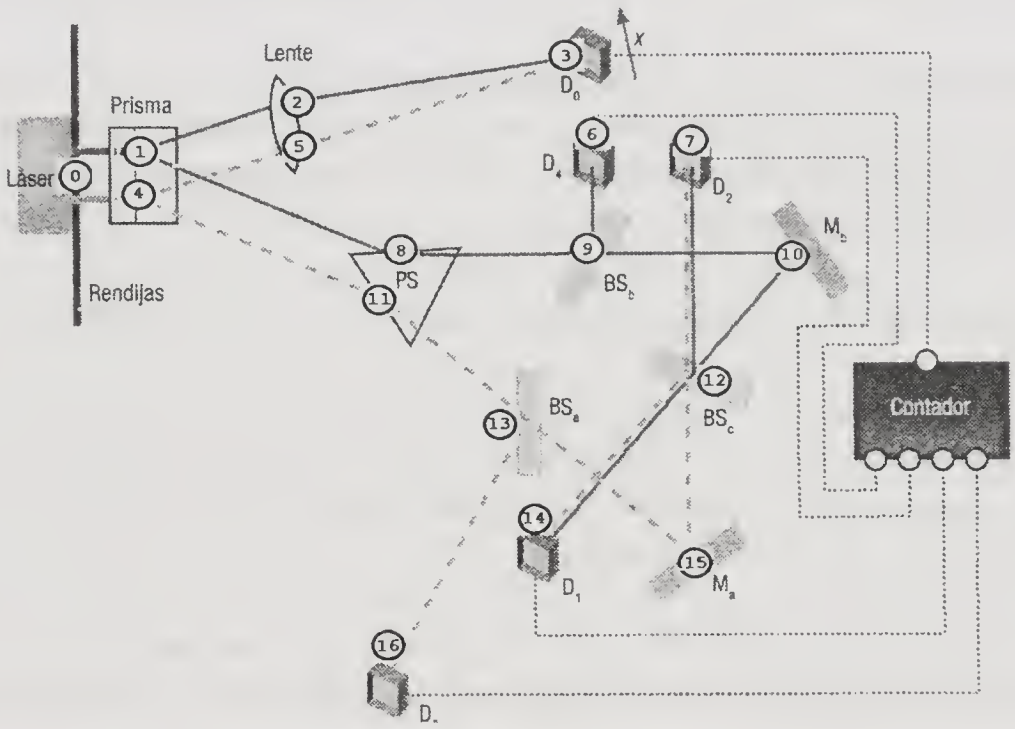
Experimento de Wheeler o Borrador Cuántico de Elección Retardada

Otro experimento que nos llena de asombro y que cuestiona las nociones de temporalidad es el Experimento de Wheeler, llamado también "borrador cuántico de elección retardada", que se realiza con objetos cuánticos que al final se comportan como fotones u ondas según lo que resulte al azar.

El dispositivo es el de la figura[24]. En él señalamos con números 1, 2, 3,...17 los puntos adonde llega el objeto cuántico que desde ahora llamaremos cuantón (fotón para los amigos), y con D_0, D_1, D_2, D_3, D_4 detectores que evidencian la presencia del mismo.

Asimismo aparecen en el dispositivo elementos BS divisores de haz, que con una probabilidad del 50% envían al cuantón incidente por un camino u otro (ver la figura). El Prisma posterior a la Rendija divide al cuantón incidente en otros dos cuyas energías son exactamente la mitad del incidente[25]. El otro prisma PS y la lente simplemente desvían la trayectoria de los cuantones. Finalmente dos espejos señalados como M reflejan el haz. Por último el Contador es la computadora que vincula las detecciones sobre D_0, D_1, D_2, D_3, D_4

(Si el lector quiere obviar la descripción de este experimento, puede pasar directamente a las conclusiones. Le recomendamos entonces que reinicie la lectura a partir de Conclusiones del Experimento de Wheeler)



1. Describamos ahora paso a paso qué sucede en cada parte del dispositivo experimental. Señalemos que, en esta descripción del experimento, estamos tratando con un objeto cuántico (cuantón), que no es ni fotón ni onda, hasta que los detectores la hayan registrado (medido), por lo tanto no podemos decir nada sobre su naturaleza.

2. El cuantón que sale de la fuente emisora y llega a la pantalla en 0 puede pasar por ambas rendijas a la vez. Por lo tanto el objeto que superó la pantalla con las 2 rendijas es la suma de todos los estados posibles, en este caso sólo 2 que por supuesto se encuentran entrelazados:

$$\alpha|\text{Pasar por rendija superior}\rangle + \beta|\text{Pasar por rendija inferior}\rangle$$

3. Repitamos nuevamente que se trata de un objeto cuántico. Si nada intenta evidenciar por dónde se desplaza lo hará por las dos rendijas a la vez. Entonces al prisma llegan dos estados distintos y entrelazados del mismo cuantón que va por dos caminos distintos incidiendo en 1 y 4. Advirtamos, de aquí en más, que como no sabemos por qué rendija ha pasado el cuantón inicial, todos las alternativas (estados) son posibles.

4. El que llega a 1 pasa por el prisma que lo divide en dos cuantones[26] entrelazados que van hacia 2 y 8, como está indicado en la figura.

5. El que llega a 4 pasa por el prisma que lo divide en dos cuantones entrelazados que van hacia 5 y 11, como está indicado en la figura.

6. Los cuantones que recorren el camino 1-2 y 4-5 son, en realidad, distintos estados del mismo objeto cuántico (que hablando rápido llamamos fotón), ya que ambos provienen del cuantón que pasó por ambas rendijas a la vez. Por lo tanto, cuando llegan a la lente convergen al detector D_0 y allí podrían manifestar su carácter ondulatorio si ambos interfieren, en tal caso formarán franjas de interferencia como en el experimento de Young, o bien impactando como fotones si, por alguna razón, conocemos el camino que siguieron para llegar allí.

7. Los cuantones que salen paralelos del Prisma inicial y que recorren el camino 1-8 y 4-11 son desviados por el prisma PS para afectar, cada uno de ellos, a instrumentos distintos en tiempos distintos. En tanto va sucediendo esto, los cuantones 1-2 y 4-5 ya están marchando y tal vez ya han llegado a 3 para ser registrados por el detector D_0. El dispositivo experimental está preparado de tal manera que estos cuantones lleguen a D_0 unos 8 nanosegundos antes que los 1-8 y 4-11 hacia sus otros destinos.

8. El cuantón que pasa por 8 pasa necesariamente por el divisor de haz BS_b. Aquí pueden pasar dos cosas excluyentes con una probabilidad del 50% cada una (agregando dos nuevas alternativas a la función de onda): que el cuantón pase de largo, dirigiéndose a 10 o que sea desviado hacia 6. Dejaremos esta opción por ahora para mencionarla más tarde.

9. Suponiendo que el cuantón que llegó a 9 pasó de largo, debe alcanzar 10 y allí al espejo M_b, sobre el que rebota.

10. El cuantón, luego de pasar por 10, incide en el divisor de haz BS_c en 12 (en general, cada divisor de onda agrega 2 nuevas alternativas a la función de onda previa) en donde puede pasar de largo hacia 14 y simultáneamente rebotar hacia el detector D_2 en 7.

11. Mientras tanto, el cuantón que desde 11 llegaba a 13 era desviado por el divisor de haz BS_c simultáneamente hacia el espejo M_a en 15 por un lado y hacia el detector D_3 en 16. Volveremos sobre esta opción después.

12. Por su parte el cuantón que alcanzaba el espejo M_a en 15 era enviado al divisor de haz BS_c en 12. En este caso, simultáneamente, seguía de largo hasta encontrar el detector D_2 en 7, y rebotaba al detector D_1 en 14.

13. Volvamos al ítem 7). Recordamos que el detector D_4 en 6 registraba un cuantón que debía venir necesariamente de 8. Esta detección se produce siempre y cuando la función onda colapse haciendo aparecer el fotón en 6 (la función de onda de los cuantones que recorre el dispositivo, a partir de 8 y 11, es la superposición de muchas componentes. Al colapsar en 6 podría aparecer o no el fotón en el detector D_4, si no lo hace aquí, el cuantón seguirá recorriendo el dispositivo). La detección en D_4 puede producirse luego de la posible interferencia entre los cuantones que pasaron por la lente 2 y 5 y llegaron al detector D_0 en 3, porque así ha sido preparado este experimento. Pero esto implica saber que el cuantón que interfirió en 3 pasó por la rendija superior, ya que en 6 fue detectado un cuantón asociado al que paso por 2 y que ambos provenían del que paso por 1. Y si sabemos que pasó por la rendija superior, no pudo pasar por la inferior, por el Principio de Complementariedad de Bohr si el cuantón actúa como fotón, cosa de la que estamos seguros, no puede actuar como onda. Por lo tanto la condición para la formación de franjas de interferencia que era no conocer por qué rendija pasaban el cuantón que interfería consigo mismo, o mejor dicho, admitiendo que pasaba por las dos rendijas, ya no se verifica porque el impacto en 6 nos asegura que el fotón que antes interfirió en 3 pasó con toda seguridad por la rendija superior y no por la inferior. La detección en 3, que había sido coherente como franja de interferencia, debe modificarse (a posteriori!!!) y pasar a ser una detección coherente con el impacto de una partícula.

14. Exactamente los mismo argumentos expresados en el paso 13) pueden repetirse para el cuantón que hizo el camino 4-11-13-16 .

15. Las alternativas que introducen los divisores en 9 y 13 seguirán su curso si en 5 o 16 no se ha producido un colapso de la función de onda que llega allí.

16. Inversamente en las registraciones (colapso de la función de onda) sobre los detectores D_1 en 14 y D_2 en 7, concurren cuantones entrelazados que habrían pasado por las rendijas superior e inferior, de modo que de estas registraciones no se puede saber qué camino siguieron. Es decir, del cuanton que interfiere con sí mismo en 3, se comporta como una onda y no sabemos qué ruta eligió de modo que las condiciones para que persistan las franjas se cumplen de modo que las mismas pueden seguir existiendo.

Conclusiones del Experimento de Wheeler

Este experimento se realiza enviando cuantones de a uno. Es decir sale un cuantón (fotón hablando con menos precisión) del emisor, espaciado temporalmente el lapso de tiempo que nos convenga experimentalmente. Luego esperamos que recorra todo el circuito que hemos descripto. Pues bien, por las características constructivas del dispositivo, antes de terminar de impactar en cualquiera de los detectores D_1, D_2, D_3, D_4, el cuantón llega unos 8 nanosegundos antes al detector D_0, en 3. Estando allí interfiere con sí mismo. Sin embargo, lo que pase alli depende de lo que ocurra 8 nanosegundos después con los detectores. Es decir, si, 8 nanosegundos después, repitámoslo porque es crucial, D_3 o D_4 registran un impacto, (que además no es simultáneo por la arquitectura del dispositivo), a causa del mismo, se puede deducir que el cuantón habrá pasado por la rendija de abajo o la de arriba, según el registro haya sido en los detectores en 6 o 16, respectivamente. Si esto ocurre, instantáneamente desaparece la posibilidad de que 8 segundos antes se hayan formado franjas de interferencia en 3, en otras palabras, desaparece el patrón de interferencia.
Digámoslo directo y sin cortapisas, la interferencia en 3 queda firme 8 nanosegundos después, según lo que pase en el resto del dispositivo. Estas conductas son típicas de los estados entrelazados en los que la distancia espacial o temporal no cuenta cuando colapsa la función de onda y se obtiene el resultado del experimento. En este experimento todos los objetos cuánticos que circulan se hayan entrelazados. Además los detectores que registran el impacto de los cuantones se entrelazan forzosamente con ellos (como sucede con el extremo cuántico de cualquier instrumento de medida) y forman una función de onda que colapsa en todas partes a la vez. Es en ese momento que se decide si la franja de interferencia se queda o es removida y es en ese instante que el cuantón se comporta como una onda luminosa o como un fotón. Podrían haber sido un millón de años y no 8 nanosegundos el tiempo que demoren los cuantones y detectores entrelazados en producir el colapso de la función de onda y el resultado hubiera sido el mismo. Este experimento muestra claramente la no localidad espacio-temporal de los fenómenos cuánticos en los estados entrelazados de los cuantones que circulan en el experimento, en particular entre los que llegan a todos los detectores. Debido a ese entrelazamiento y que el estado de todos ellos es descripto por una única función de onda. La determinación sobre los detectores D_1, D_2, D_3, D_4, entrelazados con los cuantones, parece, solo parece, decidir la interferencia detectada por D_0 en 3, ocurrida un intervalo de tiempo antes. Evidentemente el tiempo no decide el resultado final de un fenómeno cuántico, porque de ser así, lo ocurrido unos nanosegundos antes debiera haber quedado firme e independiente de descubrimiento posterior de la ruta del cuantón. Asimismo, como ya dije, algo parecido sucede con el espacio en el famoso experimento sugerido por el artículo EPR. Allí no cuenta la distancia... y el tiempo tampoco porque el resultado de una observación se transmite instantáneamente a través de espacio. Aunque debemos apurarnos a aclarar que la restricciones relativistas, respecto de acciones más rápidas que la luz se conservan, pero eso es otra historia.

El experimento de Wheeler expone claramente el asombroso comportamiento entre los componentes de un sistema cuántico entrelazado. Sin embargo esta característica es conocida desde los comienzos de la QM. En particular Albert Einstein publicó en 1936 un famoso artículo (que ya hemos mencionado en este texto)

con sus colaboradores Boris Podolsky y Nathan Rosen, en el que cuestionaban la acción instantánea y a distancia entre las dos partes, introducen el concepto como parte de una demostración de la incompletitud de la QM. Einstein llamaba este efecto "acción fantasmagórica a distancia", y en cierto sentido tenía razón. Einstein fue un científico extraordinario pero en esto se equivocaba. En varios experimentos posteriores se demostró la exactitud de las predicciones brindadas por la QM. En particular en estos últimos días la revista Science del 15 de junio de 2017 publica el artículo: "China's quantum satellite achieves 'spooky action' at record distance" en la que se muestra que un par de fotones (en realidad tendríamos que llamarlos cuantones) entrelazados y polarizados en sentido contrario, creados en el satellite Micius a 500 km de altitud, dispositivo lanzado en 2016, confirman la interacción instantánea entre ambos, es decir al estado de polarización arbitraria observada en uno de los fotones le corresponde, instantáneamente el estado opuesto en el otro fotón, al ser detectados ambos en estaciones ubicadas en tierra (laboratorios de Delingha y Lijiang en Tibet, China) a 1200 km uno del otro, un record absoluto hasta ahora.

Epilogo

Las ideas, afirmaciones, descripciones que se acumulan en este texto pueden dar aire a puntos de vista anticientíficos que, durante siglos y hoy más que nunca, buscan homologarse a través de las ciencias. Nosotros hemos cuidado de que nada parezca producto de fuerzas ignotas. La mecánica cuántica es insólita y sorprendente, eso es indudable, pero todas sus "excentricidades" están sólidamente basadas en teorías científicas exigentemente contrastadas por ensayos experimentales que se renuevan día a día, y si bien, nosotros podemos no haberlos mencionado, existen y pueden ser consultados, todos ellos, en la abundante literatura científica sobre la mecánica cuántica. En la física de hoy existen muchas especulaciones, pero fue, es y debe ser así, ya que el mal llamado 'método científico" formula hipótesis y construye teorías que a la postre deben ser rigurosamente contrastadas contra la realidad. Una enorme distancia existe entre la ciencia y la pseudociencia en el hecho de que las primeras reconocen, cuando es el caso, su carácter especulativo y la falta de confirmación experimental cuando esta no existe. La ciencia en su etapa especulativa trata de sugerir por todos los medios caminos para lograr esa confrontación experimental. ¿Qué científico no desea ver sus ideas salir exitosas ante los más duros experimentos que sus colegas puedan diseñar? Esto es, precisamente, lo que escatiman los charlatanes y falsificadores alejando sus teorías del control experimental. Este blindaje es bien conocido y ha sido utilizado hasta el hartazgo no solo por los charlatanes sino además por todos aquellos que viven, desde hace milenios, usufructuando del desconocimiento y la ingenuidad del público.

ANEXO I

Interpretación alternativa del Interferómetro de Mach - Zehner

Utilizando el dispositivo experimental explicado más arriba, el Experimento Nº 1 puede interpretarse de una manera distinta. Aquí vemos como ciertos aspectos del comportamiento cuántico escapan, momentáneamente, a la observación, que es la misma en ambos casos, no obstante esas posibles interpretaciones deben ser coherentes con las hipótesis básicas de las QM y sus resultados.

La fuente envía al dispositivo cuantones de a uno. Espaciados temporalmente a discreción. Según qué tipo de detección se haga, esos cuantones se comportarán como partículas, fotones en este caso, u ondas, según sea el arreglo experimental.

Experimento Nº 1 En este experimento se quitó el divisor S_2, aunque permanecen en el dispositivo los detectores D_1 D_2. Los cuantones que ingresan o se reflejan en S_1 "no saben" si en el cruce de los caminos A y B existe detectores u otro divisor que permitan registrar, o no, el camino que sigue cada uno, por lo tanto hasta encontrarlos el cuantón tiene una función de onda $|\psi\rangle$ que incluye superpuestos todos los posibles estados del mismo, es decir $|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle$ en donde $|\alpha|^2 = \frac{1}{2}$ $|\beta|^2 = \frac{1}{2}$ son las probabilidades con que se puede presentar cada uno de los estados superpuestos cuando colapsa la función de onda. Destaquemos que la función de onda se corresponde, físicamente, a un "objeto" constituido por el entrelazamiento de un cuantón que viaja por A con una copia de sí mismo que viaja por B.

La función de onda $|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle$ colapsa cuando alguno de los fotones llega a un detector. Estamos suponiendo que los caminos A y B son exactamente iguales, pero cualquiera sea el caso la función de onda colapsa cuando uno u otro o los dos detectores registran un fotón. En ese instante alguno de los estados superpuestos prevalece y sobre alguno de los detectores, nunca en los dos, se registra el fotón que en este caso se mide como un fotón. Nótese que, además, conocemos el camino que ha seguido, cosa que antes de la detección no sabíamos ya que el divisor podía haber enviado al cuantón por A o por B.

En la interpretación incluida en el texto de este artículo, de S_1 egresaba un fotón que viajaba por uno u otro camino, no por los dos. Es decir en un camino u otro el fotón iba a terminar chocando con un detector que, a su vez, iba a determinar el camino seguido por aquel. Aquí se está suponiendo que el cuantón "sabe" al entrar a S_1 que no existe S_2 y que cada camino incluye un detector D_1 o D_2, por lo tanto, que en algún momento iba quedar dilucidado por qué camino había viajado la componente que resultaba del colapso de $|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle$."Conociendo" esto podía decidir viajar como fotón por uno de los dos caminos.

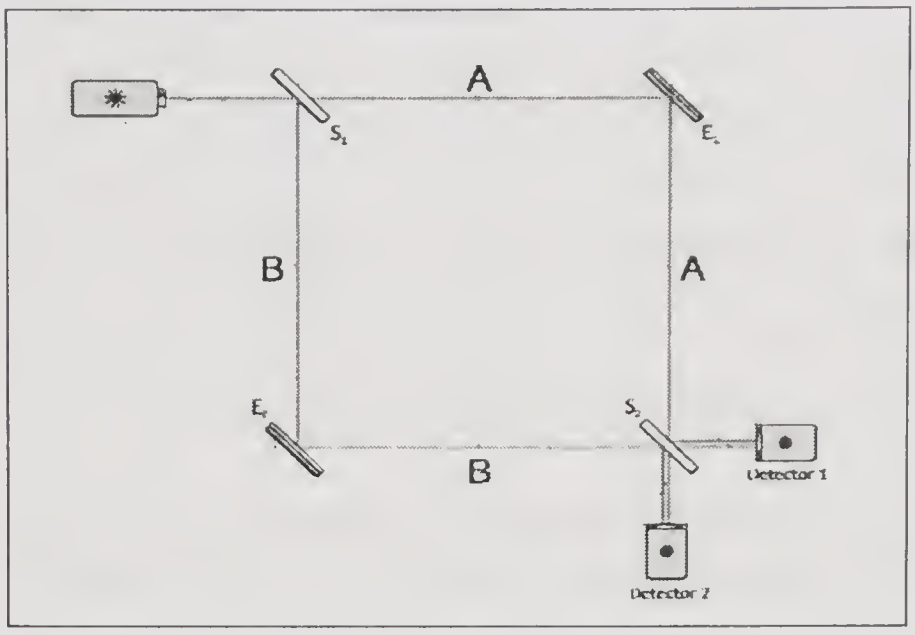
Preferimos la interpretación expuesta en este anexo por la sencilla razón que tiene hipótesis más débiles (exige menos) que la supuesta en el texto del artículo. Consideramos aquí que el cuantón no necesita "saber" nada. Ocurre, simplemente, que alguno de ellos se encuentra con los detectores. Es allí que debe "decidir" qué estado lo representa. En este caso, el que va por un camino u otro.

Es interesante notar en el Experimento Nº 1, si antes de que el cuantón, que recorre los caminos A y B simultáneamente, llegue a los detectores D_1 o D_2, incluimos un divisor S_2, pasamos automáticamente al Experimento Nº 2. Siendo así, no tendremos que suponer que, en ese instante, se agrega al fotón existente una copia viajando por el otro camino. En este caso, la nueva interpretación no debe poner ni sacar cuantones, la función de onda sigue siendo la misma hasta que los fotones se encuentren con el divisor S_2 y la presencia de éste desencadena la interferencia destructiva ante el detector 2.

Finalmente, si los caminos A y B tuvieran distinta longitud, la función de onda $|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle$ llegaría siempre al detector ubicado en el camino de menor longitud. En ese instante colapsaría la función de onda seleccionando al azar una u otra componente para representar en ese momento el estado del sistema. Supongamos que Longitud A < Longitud B y que desaparece la componente $|\text{Cuantón por A}\rangle$. La función de onda sería entonces $|\psi\rangle = |\text{Cuantón por B}\rangle$. Esto significa que estaremos seguros que por A no viaja fotón alguno y que el único fotón ahora existente lo hace por el camino B. Evidentemente cuando ese fotón llegue al detector ubicado en el camino B colapsará en un 100% de los casos disparando al mismo.

Notemos dos cosas: en primer lugar, la decisión por donde va el cuantón se decide cuando la función de onda colapsa, no antes. Hasta ese momento el cuantón circula por los dos caminos...a la vez. En segundo lugar, siendo Longitud A < Longitud B, podemos construir el dispositivo haciendo que la distancia entre los detectores sea, a su vez mayor que Longitud A. Si el experimento es tal que Longitud A = 1 año luz, resulta que el cuantón que va por B debería esperar más de un año en enterarse de que ya se produjo el colapso y le toca a él convertirse en fotón e impactar en el detector 2. La noticia no puede llegar más rápido. Pero, y esto se demostró experimentalmente, el cuantón que viaja por B se entera en el mismo instante que colapsa la función de onda en el detector A. A partir de ese momento podemos estar seguro de que el cuantón es una partícula, es decir un fotón que viaja por B ¿Significa esto que la señal va más rápido que la velocidad de la luz, contradiciendo la Teoría Especial de la Relatividad? No. Este tipo de cosas pueden pasar cuando los sistema se encuentran entrelazados, como es el caso de los objetos cuánticos que viajan por los caminos A y B.

ANEXO II



La función de onda de un cuantón[27] <u>antes de impactar a</u> S_2 es:

$$|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón por A}\rangle + \beta|\text{Cuantón por B}\rangle \quad \text{donde} \quad |\alpha|^2 = |\beta|^2 = \frac{1}{2}$$

Veamos la expresión de cada componente, a partir de la función de onda inicial y cómo esta es afectada por los sucesivos dispositivos colocados en su camino, entonces antes de impactar en S_2:

$$|\text{Cuantón por A}\rangle = |\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle$$
$$|\text{Cuantón por B}\rangle = |\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle$$

$|\text{Transmisión } S_1\rangle$, $|\text{Reflexión } E_1\rangle$, $|\text{Reflexión} S_1\rangle$, $|\text{Reflexión } E_2\rangle$ son las modificaciones introducidas en la función de onda inicial $|\text{Cuantón}\rangle$, cuando el cuantón inicial impacta sucesivamente en: S_1, E_1, E_2. Observemos que en el espejo sólo puede haber reflexiones, en tanto que, en los divisores, existe también la reflexión pero en la mitad de los casos el cuantón será transmitido. Recordemos que en cada reflexión, en espejos o divisores, la función de onda sufre un desfasaje de $\frac{\lambda}{4}$ es decir un cuarto de la longitud de onda de la función de onda del cuantón.

Haciendo los reemplazos queda:

$$|\psi\rangle = \alpha|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle + \beta|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle$$

Ahora bien, al pasar por el divisor S_2 la función de onda se verá afectada por la transmisión y reflexión en este dispositivo, resultando entonces:

$$|\psi\rangle = \alpha\begin{bmatrix}\alpha|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle + \\ \beta|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle\end{bmatrix}|\text{Reflexión } S_2\rangle + \beta\begin{bmatrix}\alpha|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle + \\ \beta|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle\end{bmatrix}|\text{Transmisión } S_2\rangle$$

Quedando finalmente:

$$|\psi\rangle = \alpha^2|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle|\text{Reflexión } S_2\rangle +$$
$$\alpha\beta\begin{pmatrix}|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle|\text{Reflexión } S_2\rangle + \\ |\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle|\text{Transmisión } S_2\rangle\end{pmatrix} +$$
$$\beta^2|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle|\text{Transmisión } S_2\rangle$$

donde $|\alpha|^2 = |\beta|^2 = \frac{1}{2}$

Notemos que la función de onda del cuantón que llega al detector D_1 es:

$$|\text{Cuantón } D_1\rangle = \alpha^2|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle|\text{Reflexión } S_2\rangle +$$
$$\beta^2|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle|\text{Transmisión } S_2\rangle$$

y la correspondiente al Detector D_2

$$|\text{Cuantón } D_2\rangle = \alpha\beta|\text{Cuantón}\rangle|\text{Reflexión} S_1\rangle|\text{Reflexión } E_2\rangle|\text{Reflexión } S_2\rangle +$$
$$\alpha\beta|\text{Cuantón}\rangle|\text{Transmisión } S_1\rangle|\text{Reflexión } E_1\rangle|\text{Transmisión } S_2\rangle$$

Escribamos estas dos últimas poniendo explícitamente cómo es transformada la función de onda inicial $|\text{Cuantón}\rangle$ debido a la presencia de espejos y divisores en el camino de los cuantones:

$$|\text{Transmisión } S_1\rangle = 1$$
$$|\text{Reflexión } E_1\rangle = e^{\frac{i\pi}{2}}$$
$$|\text{Reflexión } S_1\rangle = e^{\frac{i\pi}{2}}$$
$$|\text{Reflexión } E_2\rangle = e^{\frac{i\pi}{2}}$$
$$|\text{Transmisión } S_2\rangle = 1$$
$$|\text{Reflexión } S_2\rangle = e^{\frac{i\pi}{2}}$$

Los exponenciales imaginarias son el factor de fase debido a cada reflexión. Por lo tanto:

$$|\text{Cuantón } D_1\rangle = \alpha^2|\text{Cuantón}\rangle e^{i\pi} + \beta^2|\text{Cuantón}\rangle e^{i\pi} = \left(\alpha^2 + \beta^2\right)e^{i\pi}|\text{Cuantón}\rangle$$
$$|\text{Cuantón } D_2\rangle = \alpha\beta|\text{Cuantón}\rangle e^{\frac{i3\pi}{2}} + \alpha\beta|\text{Cuantón}\rangle e^{\frac{i\pi}{2}} = \alpha\beta e^{\frac{i\pi}{2}}\left(e^{i\pi} + 1\right)|\text{Cuantón}\rangle$$

Resumiendo al salir del divisor S_2 la función de onda es:

$$|\psi\rangle = \left(\alpha^2 + \beta^2\right)e^{i\pi}|\text{Cuantón}\rangle + \alpha\beta e^{\frac{i\pi}{2}}\left(e^{i\pi} + 1\right)|\text{Cuantón}\rangle$$

Suponiendo, para simplificar que $\alpha = \beta$ resulta finalmente:

$$|\psi\rangle = 2\alpha^2 e^{i\pi}|\text{Cuantón}\rangle + \alpha^2 e^{\frac{i\pi}{2}}\left(e^{i\pi} + 1\right)|\text{Cuantón}\rangle$$

Pero $e^{i\pi} = e^{-i\pi} = -1$ luego del producto escalar $\langle\psi||\psi\rangle$ resulta:

$$\langle\text{Cuantón } D_2||\text{Cuantón } D_2\rangle = 0 \Rightarrow |\text{Cuantón } D_2\rangle = 0$$

y también:

$$|\psi\rangle = 2\alpha^2 e^{i\pi}|\text{Cuantón}\rangle$$

La función de onda quedó reducida a la componente que impacta en el detector D_1

$$\left|\text{Cuantón } D_1\right\rangle = 2\alpha^2 e^{i\pi} \left|\text{Cuantón}\right\rangle$$

Siendo $|\alpha|^2 = \frac{1}{2}$ resulta:

$$\left|\text{Cuantón } D_1\right\rangle = e^{i\pi} \left|\text{Cuantón}\right\rangle$$

Apreciemos en la anterior que el factor de fase $e^{i\pi}$ corresponde a suma de las dos reflexiones que sufren todos los objetos cuánticos que llegan al detector D_1. A menos este factor de fase, que no tiene influencia alguna en la probabilidad, la función de onda del cuantón que ingresa a D_1 es la misma de la que sale del emisor antes de impactar en el divisor S_2

Dicho de otra forma, todos los cuantones emitidos por la fuente impactan al detector D_1 con una probabilidad del 100%. En consecuencia la probabilidad de algún impacto en D_2 es 0.

Bibliografía

1. Miguel Angel Virasoro. Comunicación personal. 2017

2. Eduardo Arroyo. Ciencia y Consciencia – La interacción entre mente y materia. España, Editorial RBA, 2016.

3. Bruce Rosenblum y Fred Kuttner. El Enigma Cuántico – Encuentros entre la Física y la Conciencia. Argentina, TusQuets Editores. 2012.

4. P.A.M. Dirac. Principios de Mecánica Cuántica, España. Ediciones Ariel. 1967

5. Anton Zeilinger, La Realidad de los Cuantos. España, Temas. Investigación y Ciencia N°86. 4to cuatrimestre. 2016.

6. Agustín Rela, Comunicación personal. 2017

7. Andrés Cassinello y José Luis Sanchez Gomez. La Realidad Cuántica. España. Drakontos Crítica, 2012

8. Claude Cohen-Tannoudji. Bernard Diu y Franck Laloe. Quantum Mechanics. Francia. Herman. John Wiley & Sons.1977

9. Roger Penrose. El Camino a la Realidad. DEBATE. España. 2000

REFERENCIAS

[1] Si bien una teoría física no se ocupa de la realidad intrínseca sino sólo de las características observables, directa o indirectamente, es también cierto que muchos grandes científicos piensan más allá de las teorías vigentes. Mediante la lógica, la intuición, los experimentos, la curiosidad, el conocimiento, la casualidad, los errores, la suerte, etc., etc., a veces superan lo establecido, es decir se introducen en alguna porción desconocida de la realidad. Esas porciones de la realidad son la que llamamos "realidad intrínseca", es decir una realidad que todavía no tiene derecho de pertenecer a la ciencia.

[2] Principios de Mecánica Cuántica", P.A.M. Dirac, Editorial Ariel, España, 1968, pag. 19.

[3] Naturalmente toda vez que miremos u observemos estaremos haciendo un experimento. Tal vez arrojándole otros objetos que según creemos nos permite "mirar" al monstruo.

[4] Un par de partículas entrelazadas, separándose una de otra, no es un sistema totalmente microscópico aunque involucre muy bajas energías. En efecto no es microscópico, en relación a la distancia que separa a las partículas alejándose una de otra.

[5] Estrellas de neutrones, láseres, agujero negros, etc

[6] Más adelante diremos algo relativo a esa misteriosa línea de demarcación al mencionar la teoría GRW (Ghirardi-Rimini-Weber)

[7] Bruce Rosenblum y Fred Kuttner hablan en su excelente libro "El Enigma Cuántico" de una especie de "secreto de familia" del cual, los físicos cuánticos, prefieren no hablar, como los pecados vergonzantes en las familias tradicionales.

[8] Principios de Mecánica Cuántica", P.A.M. Dirac, Editorial Ariel, España, 1968, pag. 19.

[9] En efecto si en un instante dado, se conocen para todas las porciones elementales: su posición, su velocidad, y todas las fuerzas que actúan sobre cada una de ellas, es posible para el Gran Calculista del Universo conocer todo el pasado y todo el futuro del sistema aplicando las ecuaciones de Hamilton-Jakobi

[10] Por supuesto quienes adhieren a principios espirituales pueden argumentar una realidad metafísica que no se agota en los límites de la física. En ese espacio recuperarían, en toda su potencia, la libertad de elección.

[11] Cuando varios objetos cuánticos se encuentran entrelazados (entangled) no puede sacarse conclusiones estudiando (cuánticamente) el estado individual de cada uno de ellos por separado. Por el contrario debe estudiarse el estado único del sistema formado por todos ellos y resolviendo la ecuación de Schrodinger para todo el conjunto simultáneamente. Es decir tendremos una única función de onda $|\psi\rangle$ para todo el sistema.

[12] John Bell hubiera merecido, con toda justicia, el Premio Nobel si no hubiera fallecido prematuramente. Su aporte a la QM es seguramente uno de los avances científicos más importantes del siglo.

[13] Por supuesto esto es, por ahora y tal vez para siempre, afirmaciones de la metafísica.

[14] Por ejemplo, la probabilidad de encontrar al objeto girando hacia la derecha es: $|\langle\rightarrow\rangle|^2 = |\alpha|^2 + |\gamma|^2$

[15] En muchos párrafos de este texto hablamos de "la realidad física", en todos los casos nos referimos a la realidad evidenciada por la ciencia. Es decir una la realidad que se vuelve cada día más precisa, que no vemos pero que debemos aceptar.

[16] La clásica función $\psi(x,t)$ de la ecuación de Schrodinger se obtiene haciendo: $\psi(x,t) = \langle x,t||\psi\rangle$

[17] Schrodinger en un primer momento pensó que $|\langle\psi(\vec{x},t)\rangle|^2$ describía la distribución material y física del electrón. Lorentz en 1926 mostraría que, aunque su ecuación era correcta, el significado del cuadrado del módulo de la función de onda no era el que suponía el autor. Max Born propondría, ese mismo año, la interpretación probabilística correcta.

[18] Fue incapaz de superar la cuantifición de campos. Basicamente es una teoría no relativista

[19] En el ANEXO I se expone una interpretación alternativa y equivalente a la desarrollada aquí.

[20] Es decir "el paquete" de energía luminoso más pequeño compatible con la frecuencia de luz emitida ($E = h\upsilon$). Desde el año 1900 a esto se le llama "cuanto"

[21] Sólo podemos decir que son fotones si realizamos un experimento para detectar partículas, mientras tanto son objetos cuánticos, cuantones. En ciertas ocasiones se habla de fotones para abreviar, pero deberíamos

decir cuantones.

[22] Esto mismo recurso se utiliza en el experimento de Wheeler con los detectores D_2, D_3.

[23] En ANEXO II desarrollamos formalmente este resultado

[24] Eduardo Arroyo. Ciencia y Consciencia – La interacción entre mente y materia. España, Editorial RBA, 2016.

[25] Puesto que la energía E de un fotón es $E = h\nu$, donde es la frecuencia y h la constante de Planck, resulta que los fotones que salen del prisma tienen, cada uno, la mitad de la frecuencia del que ingresó.

[26] Nuevamente digamos que es fundamental tener el cuenta que el término fotón tiene una clara predisposición "particulista" y en el desarrollo del experimento aquello que circula no son ni ondas ni partículas. Por eso decimos "cuantón", palabra que tiene la imprecisión necesaria para el caso. Muchas veces, sin embargo, con fines ilustrativos seguiremos hablando de fotones aunque que sean cualquier cosa menos partículas

[27] Recordemos que llamamos "cuantón" a todos aquellos objetos cuánticos que no se han sufrido ninguna observación y que, por lo tanto, no pueden ser designados de ningún modo.

Key Words: Quantum mechanics; classical physics: Schrödinger, Wheeler, Young, Heisenberg, Bohr experiments: quantom.

"EL PENSAMIENTO BIOMECÁNICO DE MORIZ BENEDIKT: APORTES AL DESARROLLO DE LA BIOMECÁNICA"
"THE BIOMECHANICAL THOUGHT OF MORIZ BENEDIKT: CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF BIOMECHANICS"

Juan Carlos Muñoz

Instituto de Ciencias de la Rehabilitación y el Movimiento.- Universidad Nacional de San Martín.- Universidad Nacional de Tres de Febrero.- E-mail: profjcm@hotmail.com

RESUMEN
La Biomecánica es una disciplina que tiene un amplio espectro de aplicaciones, siendo fundamental su dominio en gran cantidad y variedad de profesiones. Medicina, terapia física y ocupacional, bioingeniería, kinesiología, biología, física médica, ortoprotésica, antropología, ciencias del deporte, son sólo algunas de las especialidades que requieren conocimientos de Biomecánica. La importancia de su contextualización socio-histórica nos conduce al Dr. Moriz Benedikt, quien habría propuesto y utilizado el término "Biomecánica" por primera vez en un congreso realizado en Wiesbaden en el año 1887, momento en el que dio inicio a un programa, en tanto acciones ordenadas a lo largo del tiempo, para establecer una nueva ciencia. En el presente trabajo se analizan textos del médico que avalan esta idea, así como el origen de dicho término, su conceptualización espacio-temporal, su vinculación con el neo-vitalismo, las leyes generales, principios y aplicaciones de la Biomecánica.
Palabras clave: Biomecánica, historia, principios, leyes generales, aplicaciones.

SUMMARY
Biomechanics is a discipline with a wide range of applications and whose knowledge is fundamental in a great quantity and variety of professions. Medicine, physical and occupational therapy, bioengineering, kinesiology, biology, medical physics, orthopedics, anthropology, sports science are just some of the specialties that require knowledge of Biomechanics. The importance of its socio-historical contextualization leads us to Dr. Moriz Benedikt, who would have proposed and used the term "Biomechanics" for the first time at a conference in Wiesbaden (1887), at wich time he started a program to establish a new science. In this paper we analyze some texts that endorse this idea as well as the origin of this term, its spatio-temporal conceptualization, its links with neo-vitalism, the general laws, principles and applications of Biomechanics.
Keywords: Biomechanics, history, principles general laws, applications.

INTRODUCCIÓN
Una introducción al estudio de la Biomecánica comienza, habitualmente, con una contextualización histórica cuyos antecedentes se remontan incluso hasta la China del emperador Huang-Ti (aprox. 2600 a.C.)

y la Grecia Clásica de Aristóteles (384-322 a.C.), pasando por Arquímedes, Vitruvio, Galeno, Da Vinci, Vesalius, Galileo, Descartes y Borelli, entre muchos otros. Sin embargo, habrá que esperar hasta entrado el siglo XIX con la deslumbrante potencia de la Mecánica Newtoniana, modelo de "Ciencia" de la época por excelencia, para encontrar por primera vez el término "Biomechank" en *Über die Erforschung des Lebens*, texto de William T. Preyer publicado en 1873. [1, 2].

Die Biomechanik unternimmt es aber keineswegs alle Mysterien des Lebens zu entschleicrn. Das kann sie nicht, und sowie sie es versucht, verliert sie an Ansehen. [2].

Pero de ningún modo la Biomecánica trata de develar todos los Misterios dc la Vida. No está en condiciones de haccrlo y, en cuanto lo intenta, pierde su prestigio.

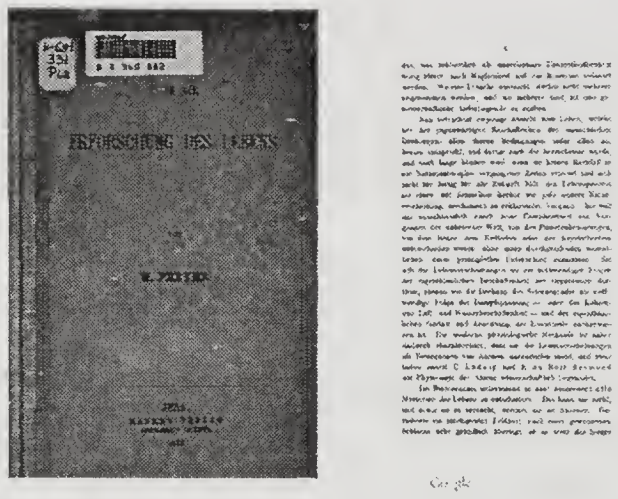


Figura 1: Über die Erforschung des Lebens [2]

Posteriormente, en *Elemente der Allgemeinen Physiologie* (1883), Preyer escribe.

Biomechanik, d.i. allgemeine Bewegungslehre der Organismen (Biokinetik), mit den beiden Unterabteilungen Biostatik oder Lehre vom Gleichgewicht der Organismen, und Biodynamik (Zoodynamik und Phytodynamik) oder Lehre von den Bewegungen der Organismen.[3].

La biomecánica, es decir, la Teoría Cinética de los Organismos (Biocinética) con sus dos subclasificaciones en Bioestática o Teoría del Equilibrio de los Organismos y Biodinámica (Zoodinámica y Fitodinámica) o Teoría de los Movimientos de los Organismos.

Hasta este reciente hallazgo, la historiografía asignaba la autoría del término al Dr. Moriz Benedikt, quien lo habría utilizado por primera vez en la conferencia científica *Über mathematische Morphologie und Biomechanik*, en el marco del congreso de naturalistas de Wiesbadcn (Alemania), en el año 1887.[4]. En *Biomechanische Grundfragen* [Cuestiones Fundamentales de Biomecánica] (1910), el propio Benedikt afirma haber acuñado el concepto y la palabra "Biomecánica", así como haberlos cmpleado por primera vez en la citada conferencia, según lo expresa en el primer párrafo del texto correspondiente:

Ich habe den Begriff und das Wort "Biomechanik" zuerst (1887) auf der Wicsbadcner Naturforscherversammlung in einem Vortrage: "Über mathcmatische Morphologie und Biomcchanik" geprägt. [5].

Acuñé el concepto y la palabra "Biomecánica" por primera vez en cl Congrcso dc Naturalistas de Wiesbaden (1887) en una conferencia intitulada: "Über mathcmatischc Morphologic und Biomechanik" [Sobre la Morfología matemática y la Biomecánica] (Figura 2)

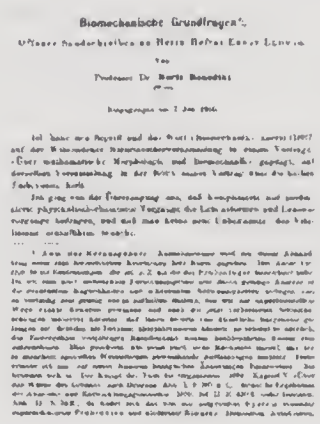


Figura 2: Biomechanische Grundfragen [5]

Sin embargo, tal como hemos expuesto en un trabajo anterior [6], esta no es la única ni la primera vez en la que Benedikt expresa su propia autoría, quien además se ocupa en diversas ocasiones de ampliar el campo de aplicaciones de la Biomecánica, buscando incluso dar validez epistemológica a su propuesta.

Esta aseveración abre el interrogante acerca de si efectivamente el Dr. Benedikt acuñó el término en forma independiente, sin conocimiento de las menciones previas realizadas por Preyer o si, por el contrario, conocía el trabajo de aquél y se apropió de la autoría. De todas maneras, sea cual fuere la respuesta a esta pregunta, lo que podemos decir hasta el día de hoy es que, mientras que Preyer menciona y define la Biomecánica en forma concisa y aislada, Benedikt, en cambio, lanzó un programa con el fin de establecer una nueva ciencia, con principios, leyes generales y particulares, y una variedad de aplicaciones para esta nueva disciplina. En el presente trabajo analizamos textos donde Benedikt pone de manifiesto su interés en este sentido, llegando a proponer leyes de la Biomecánica, que podrían ser las primeras que se han formulado para esta disciplina.

Moriz Benedikt (1835-1920)

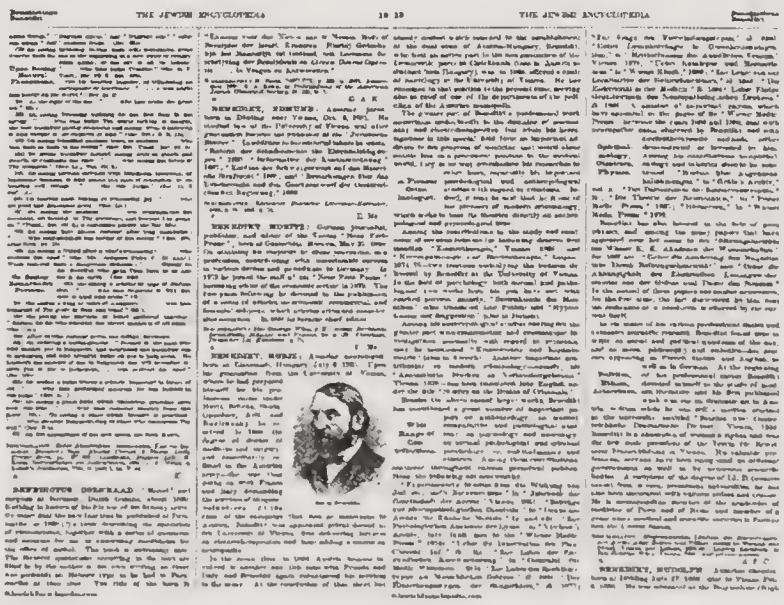
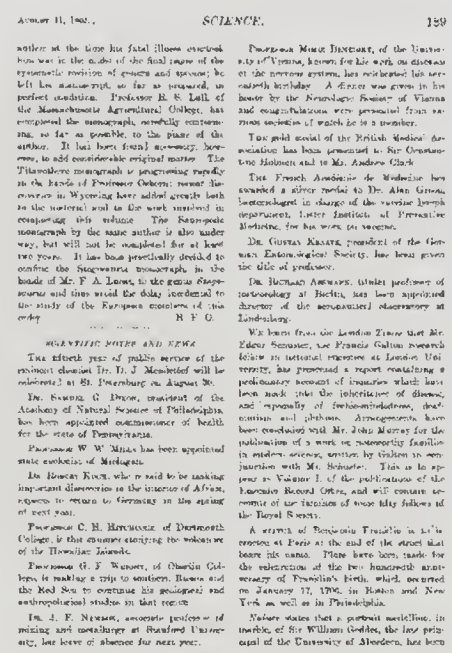


Figura 3: Biografía de Moriz Benedikt en la Jewish Encyclopedia (1906) [7]

Moriz Benedikt nació en julio de 1835 en Eisenstadt, actualmente en Austria, muy cerca de la frontera con Hungría. En 1859 obtiene el grado de doctor en medicina y cirugía, e inmediatamente se enlista en el ejército austríaco. Se desempeñó como médico voluntario durante la Segunda Guerra de Independencia Italiana y la Guerra Austro-Húngara. En 1868 aceptó una cátedra de neurología en la Universidad de Viena, en cuyas aulas se había formado (Figura 3). La mayor parte de su trabajo profesional se desarrolló en el

área de neurología. [7]. Se lo conoce por el síndrome que lleva su nombre. El Síndrome de Benedikt, considerado un síndrome alterno del tallo cerebral, fue descrito originalmente por el neurólogo austríaco (1889) y subsecuentemente por Jean-Martin Charcot (1893). [8, 9]. Se caracteriza por la presencia de una parálisis del nervio oculomotor ipsilateral acompañada por hemiparesia, hiperreflexia tendinosa y temblor de intención contralateral. Este síndrome es originado por una lesión en la porción ventral del tegmento mesencefálico, específicamente en la porción paramediana. [10]. Durante su larga vida realizó trabajos sobre una amplia gama de áreas: antropología, medicina, fisiología, neurología, psicología, física, literatura y ética. Recibió diversos reconocimientos de un gran número de sociedades médicas y científicas (Figura 4), finalmente fallece en Viena en abril de 1920.



AUGUST 11, 1905.] SCIENCE. 159

neither at the time his fatal illness overtook him was in the order of the final issue of the systematic revision of genera and species; he left his manuscript, so far as prepared, in perfect condition. Professor R. S. Lull of the Massachusetts Agricultural College, has completed the monograph, carefully conforming, so far as possible, to the plans of the author. It has been found necessary, however, to add considerable original matter. The Thamnotrere monograph is progressing rapidly in the hands of Professor Osborn; recent discoveries in Wyoming have added greatly both to the material and to the work involved in completing this volume. The Stegosaurus monograph by the same author is also under way, but will not be completed for at least two years. It has been practically decided to confine the Stegosaurus monograph in the hands of Mr. F. A. Lucas, to the genus Stegosaurus and thus avoid the delay incidental to the study of the European ancestors of this genus. N. F. O.

SCIENTIFIC NOTES AND NEWS

THE fifteenth year of public service of the president chemist Dr. D. J. Mendeleff will be celebrated at St. Petersburg on August 30.

DR. SAMUEL G. DRAKE, president of the Academy of Natural Science of Philadelphia, has been appointed commissioner of health for the state of Pennsylvania.

PROFESSOR W. W. MILLS has been appointed state zoologist of Michigan.

DR. ROBERT KOCH, who is said to be making important discoveries in the interior of Africa, expects to return to Germany in the spring of next year.

PROFESSOR C. H. HITCHCOCK of Dartmouth College, is this summer studying the volcanoes of the Hawaiian Islands.

PROFESSOR G. F. WRIGHT, of Oberlin College, is making a trip to southern Russia and the Red Sea to continue his geological and anthropological studies in that region.

DR. J. F. NEWSOM, associate professor of mining and metallurgy at Stanford University, has leave of absence for next year.

PROFESSOR MORIZ BENEDIKT, of the University of Vienna, known for his work on diseases of the nervous system, has celebrated his seventieth birthday. A dinner was given in his honor by the Neurologic Society of Vienna and congratulations were presented from various societies of which he is a member.

THE gold medal of the British Medical Association has been presented to Sir Oswald Mosley and to Mr. Andrew Clark.

THE French Académie de Médecine has awarded a silver medal to Dr. Alex Gruber, bacteriologist in charge of the vaccine lymph department, Lister Institute of Preventive Medicine, for his work on vaccine.

DR. GUSTAV KRAATZ, president of the German Entomological Society, has been given the title of professor.

DR. HERMAN ARNDARS, former professor of meteorology at Berlin, has been appointed director of the astronomical observatory at Lindenberg.

WE learn from the London Times that Mr. Edwin Schuster, the Francis Galton research fellow in national eugenics at London University, has presented a report containing a preliminary account of inquiries which have been made into the inheritance of disease, and especially of tuberculosis, deafmutism and phthisis. Arrangements have been concluded with Mr. John Murray for the publication of a work on noteworthy families in modern science, written by Fisher in conjunction with Mr. Schuster. This is to appear as Volume I. of the publications of the Eugenics Record Office, and will contain accounts of the families of those fellows of the Royal Society.

A STATUE of Benjamin Franklin is to be erected at Paris at the end of the street that bears his name. There have been funds for the celebration of the two hundredth anniversary of Franklin's birth, which occurred on January 17, 1906, in Boston and New York as well as in Philadelphia.

Nature states that a portrait medallion, in marble, of Sir William Geddes, the late principal of the University of Aberdeen, has been

Figura 4: Reconocimiento a M. Benedikt en vida (Science, 1905) [11]

KRANIOMETRIE UND KEPHALOMETRIE

Cita sobre Wiesbaden

Kraniometrie und Kephalometrie (1888) sería el primer libro de texto en el que Benedikt emplea el término Biomechanik, es decir "Biomecánica". [12]. En él, el médico austríaco confirma haber hablado por vez primera sobre Biomecánica en Wiesbaden:

Ich will Ihnen hier einige Grundideen über Biomechanik entwickeln, die ich zuerst auf der Naturforscher-Versammlung in Wiesbaden (1887) aussprach. [13].

Quisiera desarrollarles aquí algunas ideas fundamentales sobre la Biomecánica, que expuse por primera vez en el Congreso de Naturalistas de Wiesbaden (1887).

La proximidad temporal entre el Congreso y la publicación de *Kraniometrie und Kephalometrie*, nos lleva a proponer y defender la hipótesis de que este libro es el primero en el que desarrolla sus ideas sobre Biomecánica, siendo a la vez el libro de texto más antiguo del que hasta hoy se tenga conocimiento, en el que no sólo se menciona esta nueva disciplina sino que también se exponen varias de sus particularidades.

Posteriormente, en *Krystallisation und morphogenesis: Biomechanische Studie* (1904), Benedikt señalará claramente no sólo que el concepto de Biomecánica es de su autoría sino también la finalidad última al crearlo:

Um den spekulationen auszuweichen, habe ich den Begriff der Biomechanik geschaffen.[14].

Para evitar la especulación, he creado el concepto de la Biomecánica.

Biomecánica y mecánica de la vida

Al presentar la relación de la Morfología matemática con la Biomecánica mediante una analogía con la Mecánica Celeste, en la versión original en alemán, Benedikt afirma que:

Der mathematischen Morphologie müssen bald die biomechanischen Gesetze folgen, wie einst der Erkenntniss der Bahnen der Himmelskörper jene der Mecanique céleste. [13].

A la morfología matemática deberán seguirle pronto las leyes biomecánicas, al igual que antaño la Mecánica celeste siguió al descubrimiento de las órbitas de los cuerpos celestes.

Más allá del recurso comparativo, valioso epistemológicamente, nos interesa aquí hacer un paralelismo con la temprana traducción francesa de 1889, bajo el titulo de *Manuel technique et pratique d'anthropométrie cranio-céphalique* (Figura 5). En este último, el traductor Dr. P. Keraval, introduce la expresión "mecánica vital o biológica" como equivalente al de Biomecánica, que escribe entre paréntesis:

En un mot la morphologie mathématique sera bientôt suivie des lois de la mécanique vitale ou biologique (biomécanique), de même que jadis, après avoir reconnu les orbites des corps célestes, on a pu déterminer les lois de la mécanique céleste. [15].

En una palabra la morfología matemática pronto será seguida de leyes de la mecánica vital o biológica (biomecánica), como antaño, tras reconocer las órbitas de los cuerpos celestes, hemos podido determinar las leyes de la mecánica celeste.

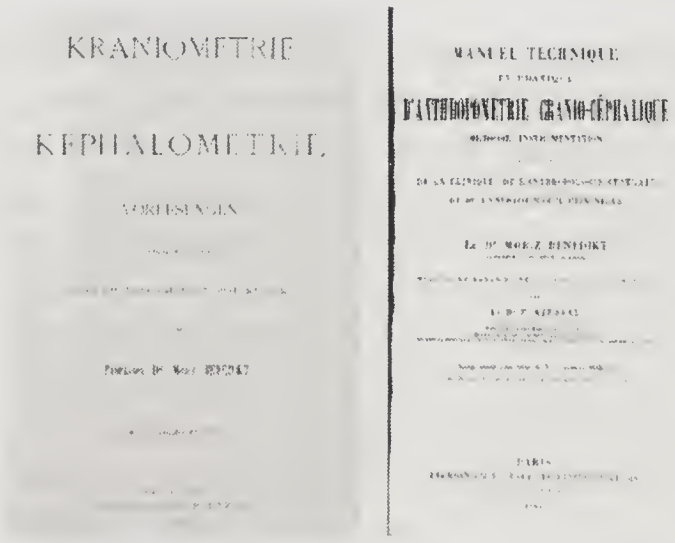


Figura 5: Ediciones en alemán (1888) y en francés (1889)[13, 15]

Así, biomecánica, mecánica vital y mecánica biológica expresan un mismo significado, a los que se les suma ya en la introducción, al comienzo del libro en francés, el de "mécanique de la vie". Mecánica de la vida en tanto conocimiento de "fuerza motrices" (treibenden kräfte), en plena época de las máquinas térmicas, la potencia motriz de Carnot y la teoría mecánica del calor.

Entendemos que estas diferentes maneras de denominar la Biomecánica no son meras expresiones del traductor con independencia absoluta del autor. De hecho, en el prefacio de la obra en francés, J. M. Charcot afirma que el propio Benedikt es quien designa a Keraval para esta ardua tarea. Y seguidamente, el propio médico austríaco deja en claro que la versión francesa "no se trata simplemente de una traducción", para a

continuación agregar que "es una transformación que ha hecho nuestro amigo" y de la que no es ajeno el autor. [15]. Transformación que se verá también en otros párrafos que, como veremos, realzan el sentido y la filosofía presentes detrás de la obra.

Epistemología de la Biomecánica y sus Principios

El interés de Benedikt con respecto al status epistemológico de la Biomecánica, buscando posicionarla en pie de igualdad con otras "ciencias", se pone claramente en evidencia al establecer los que considera como "Principien der Biomechanik" o Principios de la Biomecánica. Benedikt enuncia dos Principios, uno lo refiere de la siguiente manera:

Sowie an die alltägliche Thatsache eines vom Baume fallenden Apfels die Schaffung der Mécanique célèste anknüpft, so scheint mir die Biomechanik an die brutale Thatsache anknüpfen zu müssen, dass noch nie eine Zelle zum Elefanten oder zur Palme ausgewachsen ist. An die Spitze der Biomechanik gehört also das Princip des beschränkten Wachsthums der Zelle. Dieses Princip sagt aus, dass die Beschleunigung durch die biochemische Attraction in der ausgewachsenen Zelle von der Peripherie der Zelle gegen das Centrum rasch abnimmt und im Centrum gleich Null ist. [13].

Del mismo modo en que la creación de la Mecánica celeste se desprende del hecho cotidiano de una manzana cayendo del árbol, me parece necesario desprender la Biomecánica del hecho brutal de que una célula nunca creció hasta llegar a ser un elefante o una palmera. Por lo tanto, en la cima de la Biomecánica se ubica el principio del crecimiento limitado de la célula. Este principio expresa que la aceleración debida a la atracción bioquímica en la célula adulta disminuye rápidamente desde la periferia hacia el centro y en el centro es igual a cero.

Mientras que en la traducción francesa se afirma:

De même qu´à la chute d´une pomme se rattache la création de la mécanique céleste, de même il nous paraît judicieux de rattacher la mécanique biologique à un fait d´observation aussi commun et d´une logique brutale: on n´a encore jamais vu un cellule prendre dans sa croissance les dimensions d´un éléphant ou d´un palmier. Ce qui signifie que la cellule est limitée dans sa croissance. Premier principe qui domine toute la mécanique biologique et qui peut se traduire ainsi. L´attraction chimique, qui se produit dans la cellule vivante en voie de développement, presente une accélération qui diminue de la periphérie au centre de la cellule, et cette diminution est si rapide que l´attraction devient tout à fàit nulle au centre de l´organite.[15].

Así como la caída de la manzana se vincula con la creación de la mecánica celeste, de la misma manera parece razonable vincular la mecánica biológica a un hecho de observación también común y de una lógica brutal: nunca hemos visto una célula tomar en su crecimiento las dimensiones de un elefante o de una palmera. Lo que significa que la célula está limitada en su crecimiento. Primer principio que domina toda la mecánica biológica y que puede traducirse así. La atracción química, que se produce en la célula viva en vías de desarrollo, presenta una aceleración que disminuye desde la periferia hacia el centro de la célula, y esta disminución es tan rápida que la atracción se hace totalmente cero en el centro del orgánulo.

En la formulación del principio recién citado. Benedikt hace nuevamente alusión a la Mecánica Celeste. Vemos en ello una decisión epistemológica que apunta a otorgar valor "científico" a la novedosa Biomecánica, al compararla con la ya madura ciencia de los ciclos, "ciencia" por excelencia y que ha alcanzado los mayores logros, capaz de predecir la existencia de planetas imposibles de ver a ojo desnudo, como el caso de Neptuno descubierto finalmente en 1846. Ambas comparten ahora una misma madre, la "Mecánica de Newton". Una nueva rama de la ciencia nace, y al igual que la Mecánica Celeste, no a partir de hipótesis especulativas. "Hypotheses non fingo" había afirmado Newton. [16]. De la misma manera que la Mecánica

nace con la observación de la manzana, así la Biomecánica con la observación de la célula. He aquí una clara explicitación del pensamiento epistemológico del médico austríaco.

A continuación, Benedikt expone otro principio:

Der Kampf der Zelle um die Erhaltung der specifischen Existenz ist ein weiteres Grundprincip der Biomechanik. [13].

La lucha de la célula por la conservación de la existencia específica es otro principio fundamental de la Biomecánica.

Mientras que en la traducción francesa se lee:

Le combat de la cellule pour la conservation de son existence propre et de ses caractères spécifiques: voilà un second principe de biomécanique. [15].

El combate de la célula para la conservación de su propia existencia y de sus caracteres específicos: he aquí un segundo principio de la biomecánica.

Leyendo con detenimiento ambos principios, es posible notar que en el texto en alemán no se denominan como "primero" ni "segundo". En el primer caso, Benedikt utiliza el vocablo "spitze", es decir "cima". La expresión "An die Spitze" hace referencia a lo primordial, lo más importante de la Biomecánica, incluso podría significar lo primero, pero en un sentido cualitativo más que cuantitativo y ordinal. Recién en la traducción francesa se asignará el número ordinal, el orden primero, al correspondiente principio (Premier principe). Asimismo, es en el texto en francés donde se indicará como "segundo" principio (Second principe) al que en el texto en alemán sólo se menciona como "otro principio fundamental" (ein weiteres Grundprincip).

Si bien no nos es posible afirmar con absoluta certeza el por qué del orden impuesto por Keraval, y teniendo en cuenta que el propio Moriz brindó su consentimiento en la traducción tal como figura en la portada y el prefacio, podemos proponer dos hipótesis, que incluso podrían no ser excluyentes. Por un lado, el interés en función de la claridad, y mayor facilidad para la lectura y el estudio; por otro, el esfuerzo por resaltar la pretensión de su status "científico", como "verdadera ciencia", objetiva y universal, en términos de la época y de la postura de los autores, trayendo a la imagen mental individual y colectiva de los lectores el "Premier Principe Fondamental" y el "Second Principe Fondamental" de la *Théorie mécanique de la chaleur* [Teoría Mecánica del Calor], tal como ya se presentaban en la obra de Rudolph Clausius (1868), comparable con el ideal de ciencia newtoniana, y en consonancia con párrafos anteriormente analizados. [17, 18]. A tal efecto, nos parece oportuno señalar un párrafo del Manuel, que podría estar avalando la segunda de las hipótesis que hemos propuesto:

La morphologie d'aujourd'hui se réduit à un tissu de descriptions qui ne vous représentent la forme que par à peu près. Elle amalgame un monceau de connaissances qui ne sont que partiellement le produit de méthodes rigoureusement scientifiques et d'instruments ou d'expériences exacts. Or la morphologie ne peut devenir une science exacte que si elle réussit à déterminer les lois mathématiques des formes ... Pour assurer la marche du progrès scientifique force nous est de procéder à une réforme dans l'enseignement. La carrière scientifique étant l'équivalent de l'étude analytique de la morphologie, il n'y faut admettre que les jeunes gens imprégnés d'une forte éducation mathématique, ceux qui possèdent à fond la mécanique: il ne serait même pas mauvais qu'ils se fussent révélés comme ingénieurs avant d'entrer dans les écoles spéciales. Cette obligation imposée aux biologistes donnera aux cliniciens de la solidité, de la variété, de l'exactitude et de la logique dans la pensée, au lieu de cette confusion qui se traduit par une somme de

conclusions branlantes émanées de prémisses chancelantes. [15].

La morfología de hoy se reduce a un conjunto de descripciones que no representan la forma sino aproximadamente. Ella amalgama un montón de conocimientos que son sólo parcialmente el producto de métodos rigurosamente científicos y de instrumentos o experimentos exactos. Entonces, la morfología no puede convertirse en una ciencia exacta si no logra determinar las leyes matemáticas de las formas ... Para asegurar la marcha del progreso científico hemos de proceder a reformar la enseñanza. La carrera científica que es el equivalente del estudio analítico de la morfología, debe admitir sólo a los jóvenes impregnados de una fuerte educación matemática, aquellos que dominan a fondo la mecánica; incluso no sería malo si se hubiesen revelado como ingenieros antes de entrar en escuelas especiales [estudios superiores]. Esta obligación impuesta a los biólogos dará a los médicos la solidez, la variedad, la exactitud y la lógica en el pensamiento, en lugar de esta confusión que se traduce en una suma de conclusiones flojas que emanan de premisas endebles.

Por otro lado, esta concepción de ciencia, que hoy podríamos denominar cientificista con marcados aspectos positivistas y que exige de una fuerte formación matemática, también se sustenta recurriendo explícitamente a la autoridad -y quién mejor que el propio Isaac Newton- para justificar y defender la solidez de las propuestas del autor. Entre las varias citas en las que se emplea este recurso encontramos la siguiente:

D'après les descriptions que nous avons exposées dans le cours de cet ouvrage, le crâne est un corps géométrique construit avec toute la finesse des formes cristallographiques. Il justifie donc complètement la vieille prophétie de Newton que la Nature ne s'occupe que de géométrie. [15].

De acuerdo con las descripciones que expusimos en el curso de esta obra, el cráneo es un cuerpo geométrico construido con toda la finura de las formas cristalográficas. Por consiguiente justifica completamente la vieja profecía de Newton que la Naturaleza no se ocupa más que de geometría.

Principios, solidez matemática, dominio de la Mecánica, autoridad, paralelismo con la historia de aquella que se considera como verdadera ciencia, observación meticulosa, sustento empírico. He aquí una serie de características que Moriz Benedikt ha empleado, no sin el valioso aporte del doctor Keraval, para posicionar a la Biomecánica en el mundo del conocimiento, en el marco de la concepción de ciencia más aceptada e influyente de su época.

La idea de conservación en la ciencia

Un párrafo aparte merece la idea de "conservación", concepto íntimamente ligado a leyes fundamentales de la Física, que en aquella época se expresaba en la conservación de la fuerza (energía), del momentum lineal, del momentum angular, de la masa y de la carga eléctrica. En palabras de Richard Feynman (1965), "Descubrir las leyes de la física es como intentar construir un rompecabezas. Tenemos una cantidad ingente de piezas que además están proliferando rápidamente en la actualidad. Algunas no encajan de ninguna manera, y la pregunta es cómo sabemos que pertenecen al mismo juego, cómo sabemos que realmente son parte de un cuadro todavía incompleto. La verdad es que no lo sabemos, y esto nos preocupa en cierta medida, aunque nos anima descubrir características comunes en piezas distintas. Todas muestran un pedazo de cielo azul, o están fabricadas con la misma madera. Todas las diversas leyes físicas obedecen a los mismos principios de conservación". [19].

Fue Hermann von Helmholtz (1847), en *Über die Erhaltung der Kraft* [Sobre la conservación de la fuerza] quien, refiriéndose a lo que hoy llamamos conservación de la energía, expuso claramente los siguientes principios [20]:

1. Todos los fenómenos de la naturaleza son reducibles a fenómenos mecánicos.
2. Existe una identidad básica de la naturaleza, que se conserva.

Pocos años después la Biomecánica de Benedikt reflejará, al menos en parte, estas ideas,

- por un lado, el valor central de la Mecánica, aunque tomando distancia del mecanicismo y adoptando una posición neovitalista.
- por el otro, el concepto de conservación, tal como se manifiesta en el segundo principio de la Biomecánica: "die Erhaltung der specifischen Existenz" (conservación de la existencia específica). Y aunque en este contexto tiene una significación diferente al de la invariancia otorgada por la Física, al mismo tiempo es cualitativamente análogo.

De la aplicación original a la generalización de la Biomecánica

Como puede observarse en los párrafos precedentes, Kraniometrie und Kephalometrie presentaba ambos principios en referencia específica y exclusiva a la célula. Benedikt pone efectivamente en la cima de la Biomecánica esta aplicación. Es lo que actualmente suele denominarse como "biomecánica celular".

Sin embargo, en una obra posterior, Das biomechanische (1903), él mismo expondrá en profundidad otras aplicaciones. Comenzando por la Biomecánica de la célula (Die Biomechanik des Zellenlebens), a continuación dedica capítulos completos a lo que denomina:

Biomechanik des Wachstums [21]
Biomecánica de crecimiento

Die Biomechanik des Blutstroms [21]
La biomecánica del flujo sanguíneo

Die Biomechanik der Fortpflanzung [21]
La biomecánica de la reproducción

Posteriormente, en la primera parte de Biomechanik und Biogenesis (1912), dedicada al "Pensamiento biomecánico en la Biología", Benedikt agrega formalmente, a las aplicaciones ya tratadas en *Das biomechanische*, la Biomecánica del aparato neuromuscular (Zur Biomechanik des Nerven-Muskelapparats). [22]. Desde entonces, este término se ha generalizado a distintos campos: deportivo, médico [23], pulmonar, cardiovascular, ocupacional, forense [24], artístico [25,26], entre otros, sin tener una preponderancia en su aplicabilidad sobre un campo en particular.

DAS BIOMECHANISCHE: Biomecánica y Neo-Vitalismo

El vitalismo es la corriente filosófica que sostenía que los organismos vivos estaban caracterizados por poseer una fuerza o impulso vital, inmaterial, sin lo cual la vida resultaría imposible. El "principio vital" postulado por Paul J. Barthez (1734-1806), de naturaleza desconocida, distinto de la mente y dotado de movimientos y sensibilidad, como la "causa de los fenómenos de la vida en el cuerpo humano", se encuentra distribuido en todas partes del organismo humano, así como en animales y hasta en plantas; de tal forma que participa en todos aquellos aspectos de la vida que muestran (o parecen mostrar) alguna forma de programa o comportamiento dirigido a metas predeterminadas. El vitalismo de Barthez, a diferencia del animismo previo de Stahl, es mucho más biológico que trascendental; en sus escritos se encuentra el germen de uno de los reductos contemporáneos del vitalismo, cuyo postulado fundamental es que la vida es irreductible a dimensiones exclusivamente físicas y/o químicas.[27].

A la hora de interpretar los fenómenos naturales, esta concepción filosófica estaba mucho más arraigada en los alemanes que en sus pares franceses, quienes "hacían de la máquina su analogía básica", concibiendo el universo como una gran maquinaria, a los objetos como artilugios mecánicos menores y donde, en principio, las facultades de la mente humana podían analizarse en términos de la materia inerte y el movimiento. [28]. Es allí, donde seguramente habrá que buscar la visión de Benedikt, manifiesta en su obra cuyo título completo es:

Das biomechanische (neo-vitalistische)
Denken in der Medizin und in der Biologie. [21].

El pensamiento biomecánico (neo-vitalista)
en la Medicina y en la Biología

donde el autor expresa claramente:

Ich ersetze den Ausdruck "Neo-Vitalismus" durch "Biomechanik". [21].

Reemplazo la expresión "Neo-vitalismo" por "Biomecánica",

Esta sustitución no implica, sin embargo, un cambio de concepción en el autor. Contrariamente, tal como se sostiene en la revista Nature (1903) en alusión a *Das biomechanische*, Benedikt protesta contra la distinción entre ciencias mentales y naturales, considerando que las primeras deben tener una base experimental al mismo tiempo que las fórmulas físicas y químicas se aplican efectivamente a los fenómenos de la vida, aunque son insuficientes para poder establecer una interpretación completa porque la "Biomechanik" requiere ser complementada por una "Seelen-Mechanik" o "Mecánica del Alma"*. En palabras de Benedikt:

Ich erkannte bald, dass dieses Gesetz der Seelen-Mechanik das allgemeine Gesetz der Lebensäusserungen und die Grundformel für alles biologische Denken sei. Ich werde dieser Formel einen eigenen Abschnitt widmen. [21].

Reconocí pronto que esta ley de la Mecánica del Alma era la Ley General de las Manifestaciones Vitales y la formula básica para todo pensamiento biológico. Le dedicaré a esta fórmula un párrafo propio.

Ley Fundamental de las Manifestaciones Vitales

En el apartado referido a "algunas leyes biomecánicas generales", Benedikt enuncia en primer lugar la "Ley Fundamental de las Manifestaciones Vitales" (Das Grundgesetz der Lebensäusserungen), y la expresa mediante una fórmula matemática [21]:

$$M = f(\pm N, \pm N', \pm E, \pm O)$$

En esta se afirma que cada "manifestación" (M) o expresión de la actividad vital (Lebensausserung) es una función de la "predisposición" innata, la verdadera "naturaleza" del ser humano (N); de la "segunda naturaleza" (N') influenciada por las cosmovisiones imperantes y del modo del sentir moral establecido por la ley, las condiciones económicas y sociales, la educación, las condiciones físicas del medio circundante. También es función de influencias del desarrollo menos importantes (E) y de estímulos ocasionales (O), pudiendo ser cualquiera de estos elementos favorable (positivo) o inhibitorio (negativo).

Según un comentarista de la revista Nature (Figura 6), esta idea no sería tan novedosa aunque sí considera interesante el texto publicado, al cual no duda en denominar como "an apologia for neo-vitalism". [29]. De

esta manera, la influencia del Neo-vitalismo ha dejado su marca en Benedikt, como éste su sello personal en su obra escrita.

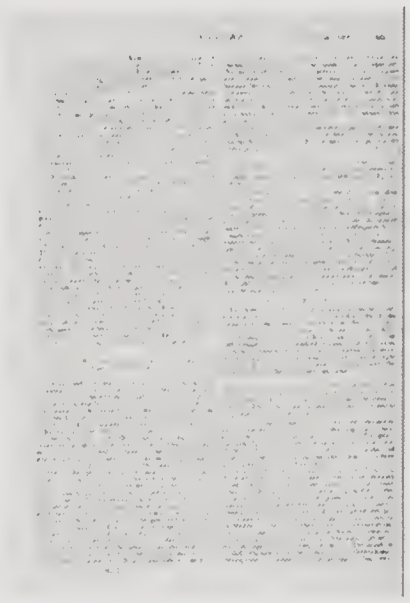


Figura 6: Comentario sobre la Ley Fundamental Revista Nature (1903) [29]

Ley Biomecánica del Mínimo

En Biomecánica, la Ley del Mínimo (Das biomechanische Minimalgesetz), que Benedikt propone y a la que otorga el valor de un axioma, afirma que:

Die Natur erreicht ihre Zwecke mit dem geringsten Aufwande (Minimum) von Kraft, Zeit und Raum und mit dem geringsten Verbrauch des geeignetsten Stoffes in den geeignetsten Raum Verhältnissen. [21].

La naturaleza alcanza sus fines con el menor gasto (mínimo) de energía, tiempo y espacio, y con el menor consumo de la materia más adecuada en las condiciones espaciales más adecuadas.

Tanto por su enunciado como por su nombre, esta ley nos recuerda a otras tantas que podemos encontrar en diferentes ramas de las ciencias, como el principio del tiempo mínimo de Fermat para el camino óptico (1657), la ley del mínimo de Liebig, originalmente desarrollada por Carl Sprengel (1828) para el crecimiento de plantas, o el principio de mínima acción.

Actualmente, aunque desconociendo la ley de Benedikt, la hipótesis del mínimo consumo de energía en Biomecánica es sostenida por gran cantidad de investigadores y autores. Un ejemplo paradigmático es el que se refiere a la marcha humana normal, durante la cual numerosos estudios asumen (y otros corroboran) que cada persona tiende a adoptar el tipo de marcha particular más eficiente y con el menor consumo energético posible. [30, 31].

Ley Biomecánica del Lujo

Mediante la Ley Biomecánica del Lujo (Das biomechanische Luxusgesetz), Benedikt afirma que los seres vivos están estructurados con un exceso de materia y fuerza (energía), es decir de acuerdo con una disposición al lujo, contrariamente a lo que postula la ley del Mínimo. Esto puede apreciarse, por ejemplo, al observar la imponente masa muscular cardíaca y cuán poco amplias son sus contracciones, o al comparar la expansión de los pulmones durante un ataque de disnea y durante la respiración normal.

Sin embargo, sostiene a continuación que, tras una reflexión madura se puede reconocer el valor y el sentido de este "lujo", que es sólo aparente. Los seres vivos son criaturas permanentes, y las provisiones de materia y de fuerza deben poder perdurar más allá de la necesidad momentánea, circunstancial. Sin una predis-

posición al lujo la existencia no perdura. Y dado que la validez del axioma anterior es para la totalidad de la vida: entonces la contradicción con él es meramente aparente.

A MODO DE CIERRE

En el presente trabajo hemos expuesto diferentes acciones llevadas a cabo por Benedikt, a lo largo de casi tres décadas, con el fin de instaurar la Biomecánica como un nuevo campo de conocimiento científico, tal como anteriormente había sido conseguido por la Mecánica Celeste. Desde la introducción del término Biomechanik, pasando por la búsqueda de un fundamento epistemológico, hasta la formulación de principios, leyes y aplicaciones diversas, mediante una profusa producción bibliográfica que incluye el que hasta la fecha es el libro conocido más antiguo que expone formulaciones biomecánicas específicas, más allá de la mención del término.[32]. Sin embargo, este programa no está exento de contradicciones y aspectos que quedan aún por dilucidar, tal como es el caso de la invención del propio término que hoy identifica esta disciplina

Queda abierto para futuros trabajos el poder establecer sobre base sólida si Benedikt realmente desconocía el término ya introducido por William Preyer, al presentarlo a la comunidad científica como propio. A favor de esta hipótesis puede considerarse que Preyer vivía en Alemania mientras que Benedikt lo hacía en Austria, y si bien ambos compartían una lengua en común, las distancias geográficas y las vías de comunicación que los separaban eran considerables para la época. A esto debe sumarse el riesgo que plantea poner en juego el "buen nombre" y reputación del médico austríaco, y el desconocimiento que tenemos, al menos hasta el momento, de quejas o críticas de Preyer o sus pares al respecto, habiendo sido contemporáneos. En contra, podría argumentarse que, difícilmente, alguien tan interesado en este nuevo campo desconociera los tratados de Fisiología más importantes y cercanos a su tiempo, especialmente los escritos en la misma lengua, o al menos que no hubiese escuchado a algún colega mencionar esta cuestión.

A partir de lo recién comentado se derivan nuevas preguntas: ¿fue realmente W. Preyer quien creó el término Biomecánica o ya había sido utilizado anteriormente? ¿Fue introducido sólo el término con anterioridad a Benedikt, o también otro tipo de especulaciones, ideas, o leyes? ¿Hasta qué punto la creación de este término, podría ser una evidencia de que la relación entre mecánica y vida era una problemática en boga en los países de habla germana de entonces, y no meros casos aislados?

Finalmente, esperamos que este artículo resulte de interés para quienes se desempeñan tanto en las Biociencias como en la Historia de las Ciencias, en particular en la Historia de la Biomecánica, así como en Educación en Biomecánica [33,34], dejando abierta a otros investigadores la posibilidad de continuar profundizando sobre los orígenes de lo que en la traducción francesa se expresa como "este nuevo mundo de la biomecánica". [15, 6].

Agradecimientos

A Susana Mayer, Traductora Pública de alemán, que ha traducido los párrafos del texto-base del alemán al castellano, solicitados especialmente por el autor para este trabajo.

Al Profesor Dr. Roberto Cassibba, quien ha sido fundamental en la promoción de la investigación en el Instituto de Ciencias de la Rehabilitación y el Movimiento (UNSAM).

NOTA: Se transcriben los párrafos originales en sus respectivos idiomas, tanto para enriquecer las comparaciones como también para brindar la posibilidad de mejorar las interpretaciones expresadas por el autor del presente trabajo.

Referencias

1- Toepfer G. : Historisches Wörterbuch der Biologie. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe. Band 2: Gefühl–Organismus. Springer-Verlag. 2016; 391.

2- Preyer, W. : Über die Erforschung des Lebens:; Mauke´s Verlag. Jena. 1873; 4.

3- Preyer, W. : Elemente der allgemeinen Physiologie, kurz und leichtfasslich dargestellt. Grieben. Leipzig. 1883; 5.

4- Benedikt, M. : Ueber mathematische Morphologie und über Biomechanik: Vortrag auf der Wiesbadener Naturforscher-Versammlung. 1887.

5- Benedikt, M. : Biomechanische Grundfragen. Springer. 1910; 31: 164-174.

6- Muñoz, J.C. : Moriz Benedikt: Origen y principios de la biomecánica. Revista de historia de la medicina y epistemología médica. Buenos Aires. 2016: 8 (2).

7- Singer, I., Chessin, A. : The Jewish Encyclopedia. KTAV. New York. 1906: (3): 12-13.

8- Benedikt, M. : Tremblement avec paralyse croisée du moteur oculaire commun, Bulletin Medical Paris. 1889; (3): 547-548.

9- Charcot, J.M. : Le syndrome de Benedikt. Medecine Moderne. 1893; (4): 194-198.

10- Esqueda-Liquidano, M. et al. : Síndrome de Benedikt secundario a trauma craneoencefálico. Presentación de un caso y revisión de la literatura. Rev Med Hosp Gen. Méx. 2014; 77 (3): 96-99.

11- American Association for the Advancement of Science. : Science. Scientific notes and news. 1905; 22 (554): 186-188.

12- Muñoz, J.C. : Moriz Benedikt: Kraniometrie und Kephalometrie: ¿El primer libro sobre Biomecánica? Libro de Resúmenes de la 101 RAFA. 2016.

13- Benedikt, M. : Kraniometrie und Kephalometrie. Urban & Schwarzenberg. Wien. 1888.

14- Benedikt, M. : Krystallisation und morphogenesis: Biomechanische Studie. Perles.Wien. 1904.

15- Benedikt, M., Keraval, P. : Manuel technique et pratique d'anthropométrie cranio-céphalique (méthode, instrumentation). Lecrosnier et babe editeurs. Paris. 1889.

16- Newton, I. : Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, General Scholium. Third edition. University of California Press. 1726; 943.

17- Clausius, R. : Le second principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur. La revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger. Paris. 1868.

18- Clausius, R., Folie, F. (trad). : Théorie Mécanique de la Chaleur, Eugene Lacroix Éditeur. Paris. 1868.

19- Feynman, R., Bosch, A. (trad.). : El carácter de la Ley Física. Tusquets Editores. Barcelona. 2005.

20- Agudelo Restrepo, C. : Orígenes de las Leyes de conservación como un principio unificador de las Ciencias Naturales. El caso de la invarianza de la energía en la física, Tesis de Maestría. Medellín. 2015.

21- Benedikt, M. : Das biomechanische (neo-vitalistische) Denken in der Medizin und in der Biologie. Fischer. Jena. 1903.

22- Benedikt. M. : Biomechanik und biogenesis. Fischer. Jena. 1912.

23- Sánchez-Lacuesta, J. et al. : Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia. IBV. 2006.

24- Schneck, D. : Editorial. Welcome to a New Journal. Journal of Forensic Biomechanics. 2010: (1).

25- Shan, G., Visentin, P. : Arts Biomechanics. An Infant Science: Its Challenges and Future. En: Levy, J. (ed.). Biomechanics: Principles, Trends and Applications. Nova. New York. 2010: 1-55.

26- Muñoz, J.C., Castro, H., Holtz, W., Muñoz, P., Vinagre, A. Aplicación de conceptos y procedimientos de la Biomecánica para el análisis de obras de arte: El Hombre de Vitruvio según Leonardo da Vinci. Anales AFA. 2011; (23): 32-44.

27- Pérez Tamayo, R. : El vitalismo de la ciencia. En: Farías, M. (coord.). Acerca de Minerva. Fondo de Cultura Económica. México. 1996.

28- Mason, S. Historia de las ciencias. Alianza editorial. Madrid. 2005: (3): 114.

29- J. A. T. : A Weekly Illustrated Journal of Science. Nature. 1903; (67): 342.

30- Perry, J., Burnfield, J. : Gait analysis, Thorofare, Slack. 2010.

31- Kuo, A., Donelan, M. : Dynamic Principles of Gait and their Clinical Implications, Physical Therapy. 2010; 90 (2): 157 – 176.

32- Muñoz, J.C. : The birth of Biomechanics. Ijarset. 2016; 3(8):2442. India.

33- Muñoz, J.C. : Vales Flores, M. : Estudio comparativo y propuesta de mejora de un problema de palancas desde la Didáctica de la Biomecánica. Didácticas Específicas. Madrid. 2016; (14): 6-22.

34- Muñoz, J.C., Vales Flores, M., Cassibba, R. : Por qué es necesaria una Didáctica de la Biofísica. Anales de la Asociación Física Argentina. 2012; 23 (1): 20 – 31.

35- Fructuoso, J. : Breve Historia del Alma en la Antigüedad". Revista Tonos Digital. 2006; 12

36- Wundt, W., Rouvier É. (trad.). : Grundzüge der physiologischen Psychologie. Félix Alcan. Paris. 1886; 363-364.

* "Alma" no debe entenderse aquí en el sentido religioso. "El sentido etimológico del término psicología es el de tratado o estudio del alma. Alma, en efecto, es la traducción consagrada de la palabra psyché desde que la obra fundacional de la ciencia que hoy denominamos psicología, Peri-psyché de Aristóteles fuera traducida al latín como De anima, y al castellano como Del alma. Podemos traducir alma como mente, como principio de volición, de acción o de conducta, como conciencia, como inconsciente, como identidad o personalidad, o bien como conocimiento. Y así, dependiendo del sentido que atribuyamos al término alma diremos que la Psicología es la ciencia de la mente, la ciencia de la conciencia, del inconsciente, de la conducta, de la personalidad o del conocimiento".[35]. En *Grundzüge der physiologischen Psychologie* [Principios de Psicología fisiológica] (1874), Wundt propone aplicar el método "objetivo" de la ciencia al estudio de la mente humana [36], y funda el primer laboratorio psicológico en 1879. Este hecho marca, para diversos autores, la independización de la psicología de la metafísica y la filosofía, para dejar de ser considerada como la ciencia del alma y sus facultades.

EX DIRECTORES DE LOS ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA (*)

Ing. Pedro Pico
Ing. Luis A. Huergo
Dr. Carlos Berg
Dr. Estanislao S. Zeballos
Ing. Eduardo Aguirre
Ing. Carlos Bunge
Dr. Angel Gallardo
Dr. Félix F. Outes
Dr. Horacio Damianovich
Ing. Julio R. Castiñeiras
Ing. Emilio Rebuelto
Ing. José S. Gandolfo
C. de Nav. Emilio L. Díaz
Dr. Pedro Cattáneo
Ing. Guillermo White
Dr. Valentín Balbín
Ing. Luis A. Viglione
Dr. Carlos María Morales
Ing. Jorge Duclout
Ing. Miguel Iturbe
Ing. Domingo Nocetti
Ing. Santiago Barabino
Dr. Eduardo Carette
Dr. Claro D. Dassen
Ing. Alberto Urcelay
Dr. Reinaldo Vanossi
Dr. Andrés O. M. Stoppani
Dr. Eduardo A. Castro
Dr. Alfredo Kohn Loncarica

(*) Desde 1876 a 1902: Presidente de la Comisión Redactora.

PRESIDENTES HONORARIOS DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA

1.- Prof. Dr. Andrés O. STOPPANI † (1915 - 2003)

2.- Dr. Carlos Pedro BLAQUIER (1927)

Director Administrativo: Lic. J. M. Lentino

Secretarios Administrativos: Sra. Natalia Lentino y Sr. Pablo A. Riquelme

INSTITUTOS DE LA SCA

Coordinador: Dr. N. Sarubinsky Grafin.

Directores:

- **De Historia de las Ciencias:** Prof. N. I. Sánchez.
- **De Energías Renovables:** Prof. H. Bosch – Dr. R. Vaccaro.
- **De Investigaciones Junguianas:** Prof. Dr. A. Las Heras.
- **De Tecnología de los Alimentos:** Lic. A. Bosch.
- **De Investigación e Innovación Productiva:** Ing. Prof. J. J. Sallaber.
- **Sánchez Labrador:** Prof. Dr. J. Sellés Martínez.
- **De Comunicaciones Digitales:** Ing. E. Draier.
- **De Investigación del HACRE:** Prof. R. P. Rothlin.
- **Del Boletín electrónico:** Lic. E. Laplagne.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Las siguientes *Instrucciones para los autores* constituyen el reglamento de publicaciones de los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTIFÍCA ARGENTINA.

1) Generales

Los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFCA ARGENTINA constituyen una revista multidisciplinaria, fundada en 1876, que considera para su publicación trabajos de cualquier área de la ciencia.

Los originales deben ser enviados al director, a Av. Santa Fe 1145, Buenos Aires, CP.:1059, República Argentina, en tres copias en papel, a dos espacios, tamaño carta, acompañados de su correspondiente CD. Los CD deberán estar rotulados con el nombre del autor o del primer autor si son varios haciendo constar el sistema computacional usado para grabar el mismo, el tipo y versión del procesador utilizado y nombres de los archivos.

Los autores serán notificados de inmediato de la recepción de sus originales. Dicha notificación no implica la aceptación del trabajo. Los originales son enviados a uno o más 'arbitros, quienes asesoran al director y a la comisión de redacción acerca de la aceptación, rechazo o sugerencia de modificaciones. La decisión final respecto a la publicación o no del trabajo es solamente responsabilidad del director.

Los originales remitidos para su publicación en los ANALES deben ser inéditos y no hallarse en análisis para su publicación en otra revista o cualquier otro medio editorial.

Todo trabajo aceptado en los ANALES no podrá ser publicado en otro medio gráfico sin previo consentimiento de la dirección.

Los ANALES se reservan el derecho de rechazar sin más trámite a aquellos originales que no se ajusten a las normas expuestas en la presente guia de *Instrucciones para los autores.*

Los ANALES constan de las siguientes secciones:

-artículos de investigación
-notas breves de investigación
-articulos de revisión y/o actualización
-editoriales
-recensiones
-cartas a la dirección
-informaciones del quehacer de la SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA
-informaciones científicas y acádemicas de interés general

Los autores, al remitir sus trabajos, deberán hacer constar la sección, a la que según su juicio, corresponden sus aportes y consignar claramente la dirección postal, teléfono, fax y dirección electrónica (si la tuviere) a la cual se remitirá toda información corceniente al original.

2) Originales

Los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA publicarán trabajos escritos en los idiomas: español, francés, inglés y portugués.

Los originales deberán respetar la siguiente estructura:

1ª pagina:

-Título del trabajo: no mayor de veinticinco (25) palabras
-Nómina de los autores, institución o instituciones a la que pertenecen cada uno de ellos.
-Institución en la que se llevó a cabo el trabajo en el caso que difiera de la institución de pertenencia.
-Domicilio postal y electrónico (si lo tuviere)

2ª página:

-Resumen en idioma español de no más de 400 palabras, con su correspondiente traducción al inglés. La traducción al inglés deberá incluir el título del trabajo cuando éste haya sido escrito en español y viceversa, si el trabajo se halla escrito en inglés el resumen en español deberá incluir la traducción del título.
-La inclusión de resumenes en francés y portugués es facultativa de los autores.
-Palabras claves para el registro bibliogáfico e inserción en bases de datos, en español e inglés.

En las páginas siguientes se incluirán las secciones Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos y Referencias. A continuación se agregarán las tablas con sus títulos, leyendas de las figuras y gráficos y finalmente las figuras y gráficos preparados como se indica más abajo.

El tipeado del manuscrito deberá hacerse a doble espacio en papel tamaño carta (aprox. 21 cm x 29cm), dejando 3 cm de márgenes izquierdo, superior e inferior, debiéndose numerar secuencialmente todas las páginas.

No se aceptará la inserción de notas de pie de página. Cuando ello sea necesario, se deberá incluir tales notas en el mismo texto.

Se recomienda emplear el Sistema Métrico Decimal de medidas y las abreviaturas universales estándar.

Solo se permitirá el empleo del Sistema Internacional de Unidades para las medidas.

Como regla general no se deberá repetir la misma información en tablas, figuras y texto. Salvo en casos especiales que justifiquen alguna excepción se aceptará presentar esencialmente la misma la información en dos formas simultáneas.

Cada sección se numerará consecutivamente, recomendándose no emplear subsecciones.

3) Tablas

Las tablas deben prepararse en hojas aparte y a doble espacio. Las mismas incluirán un título suficientemente aclaratorio de su contenido y se indicarán en el texto su ubicación, señalándolo con un lápiz sobre el margen izquierdo.

Cada tabla se numerará consecutivamente con números arábigos. Solo se deberá incluir en las tablas información significativa, debiéndose evitar todo dato accesorio y/o que pueda ser mejor informado en el mismo texto del trabajo.

Cada tabla se tipeará en hoja separada.

Los títulos de las filas y las columnas deben ser lo suficientemente explícitos y consistentes, pero al mismo tiempo se recomienda concisión en su preparación.

4) Ilustraciones

Las ilustraciones (gráficos y fotografías) deberán ser de suficiente calidad tal que permitan una adecuada reproducción debiéndose tener en cuenta que la reproducción directa de los mismos conlleva una relación entre 1:2 y 1:3. Todas las ilustraciones se numerarán consecutivamente y en el reverso de las mismas se indicarán con lápiz blando el nombre de los autores, el número de la misma y cuando corresponda la orientación para su pertinente impresión.

Los títulos de las ilustraciones se tipearán en hoja aparte, debiéndose denotar el posicionado de las mismas en el texto por medio de una indicación con lápiz en el margen izquierdo.

Las dimensiones de las ilustraciones no deberán exceder las de las hojas del manuscrito y no se deberán doblar.

Los gráficos se dibujarán con tinta china sobre papel vegetal de buena calidad y por los mismos medios se incluirán los símbolos, letras y números correspondientes. No se deberá tipear símbolo, letra o número alguno en los gráficos y fotografías.

Enviar un original y dos copias de cada ilustración. Las fotografias solo se podrán enviar en blanco y negro, ya que que no es posible imprimir fotografias en otros colores.

Cada ilustración se presentará en hoja separada.

5) Referencias

Los ANALES adoptan el sistema de referencias por orden, el cual consiste en citar los trabajos en el orden que aparecen por medio de número cardinal correspondiente. Los libros se indicarán en la lista de referencias citando el/ los autor/es, título, edición. editorial, ciudad, año y página inicial. Para indicar capítulo de libro se añadirá a lo anterior el título del mismo y el nombre del editor.

El listado de referencias se tipeará en hoja separada y a doble espacio. Se recomienda especialmente a los autores emplear las abreviaturas estándar sugeridas por las propias fuentes.

Solo se admitirán citas de publicaciones válidas y asequibles a los lectores por los medios normales debiéndose evitar recurrir a informes personales, tesis, monografías, trabjos en prensa, etc., de circulación restringida.

Lo que sigue son algunos ejemplos de citas bibliográficas en la lista de referencia:

Publicación periódica: A. M. Sierra y F. S. Gonzalez, J. Chem. Phys. 63 (1977) 512.

Libro: R. A.. Day, How to write and publish a Scientific paper, Second Edition, ISI Press, Philadelphia, 1983, p 35.

Capítulo del libro: Z. Kaszbab, Family Tenebrionodae en W. Wittmer and Buttiper (Eds.) Famma of Saudi Arabia, Ciba-Geigy, Basel, 1981, p3-15.

Conferencia o Simposio: A. Ernest, Energy conservation measures in Kuwait buildings. Proceedings of the First Symposium on Thermal Insulation in the Gulf States, Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait, 1975, p 151.

Se recomienda revisar cuidadosamente las citas en el texto y la lista de referencias a los efectos de evitar inconsistencias y/u omisiones.

Pruebas: todo artículo deberá ser revisado en la forma de prueba de galera por el autor indicado en la carta de presentación del trabajo, la cual se devolverá debidamente corregida a las 72 horas de recibida a la redacción de los ANALES. No se admitrá en forma alguna alteración sustancial del texto y en caso imprescindible se procederá a la inclusión al final del trabajo de lo que correspondiera bajo el título de " Nota agregada en la prueba".

ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA

www.revistaanalessca.wordpress.com

Órgano de la Sociedad Científica Argentina.

Revista fundada el 14 de diciembre de 1875, cuyo primer número apareció el 14 de enero de 1876.

Se viene editando continuadamente desde esta fecha.

Director: Dr. Angel Alonso

Subdirector: Dr. José L. Speroni

Comisión de Redacción

Dra. María H. Bertoni

Dr. Alberto Boveris

Dr. Eduardo Castro

Dr. Gabriel A. Gutkind

Lic. Eduardo M. Laplagne

Dra. Georgina Rodríguez de Lores Arnaiz

Dr. Federico Pérgola

Dr. Eduardo Antonio Pigretti

Dra. Alicia B. Pomilio

Dr. Humberto Quiroga Lavié

Dr. Rodolfo P. Rothlin

Ing. Juan J. Sallaber

Dr. Jorge Reinaldo Vanossi

Colaboración: Sr. Pablo A. Riquelme

Impreso por:

Uruguay 827 - Capital Federal - stms@fibertel.com.ar

Buenos Aires, NOVIEMBRE 2017

ISSN 0037-8437

ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

AÑO 2017 - VOLUMEN 259 - Nº 2

SUMARIO

Pág.

Alicia B. Pomilio, Arturo A. Vitale y Jorge O. Ciprian-Ollivier - ESTUDIOS CLÍNICOS Y DE RADIOMARCACIÓN DE BIOMARCADORES DE LA HIPERMETILACIÓN INDÓLICA EN ALTERACIONES DE LA PERCEPCIÓN HUMANA 5

Antonio Las Heras - LA VIDA DESPUES DE LA MUERTE EN LOS PUEBLOS ANDINOS DEL NOROESTE ARGENTINO 21

José María Lentino - EL LABERINTO CUÁNTICO 29

Juan Carlos Muñoz - "EL PENSAMIENTO BIOMECÁNICO DE MORIZ BENEDIKT: APORTES AL DESARROLLO DE LA BIOMECÁNICA"
"THE BIOMECHANICAL THOUGHT OF MORIZ BENEDIKT: CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF BIOMECHANICS" 57